

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERÍA TÉCNICA FORESTAL



**ESTUDIO DE LAS POSIBLES ZONAS DE INTRODUCCIÓN DE
LA *Moringa oleifera* Lam. EN LA PENÍNSULA IBÉRICA,
ISLAS BALEARES E ISLAS CANARIAS.**

Autora: Consuelo Arias Sabín

Tutor: Miguel Godino García

Madrid, febrero 2014

AGRADECIMIENTOS

Es muy difícil nombrar a todas las personas que han puesto su granito de arena para que este proyecto saliese adelante.

Especialmente a mi tutor Miguel Godino, siempre disponible, por apoyarme y ayudarme a realizar el proyecto, así como María Inés Izquierdo que siempre me aportó motivación y confianza.

A mi familia por aguantarme y estar a mi lado incondicionalmente durante todo este tiempo que ha durado la carrera y la elaboración de este proyecto.

Por último a mis amigos y compañeros, que han sido de gran apoyo tanto en las alegrías como en las penas durante todos estos años.

A todos ellos gracias, sin vosotros jamás lo hubiese logrado.

ÍNDICE DE LA MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVO.....	3
3. CARACTERÍSTICAS DE LA <i>Moringa oleifera</i>	4
3.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA ESPECIE.....	4
3.2. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DE LA <i>Moringa oleifera</i>	7
3.2.1. Identificación taxonómica de la especie.....	7
3.2.2. Familia <i>Moringaceae</i> y Género <i>Moringa</i>	8
3.2.3. Morfología.....	13
3.2.4. Biología reproductora <i>Moringa oleifera</i>	18
3.2.5. Variedades de <i>Moringa oleifera</i>	24
3.2.6. Enfermedades y plagas de la <i>Moringa oleifera</i>	27
3.2.7. Riesgo de asentamiento como mala hierba.....	28
3.3. CARACTERÍSTICAS ECOLÓGICAS DE LA ESPECIE.....	29
3.3.1. Altitud.....	29
3.3.2. Régimen pluviométrico.....	29
3.3.3. Régimen térmico.....	30
3.3.4. Caracteres edáficos.....	32
3.4. DISTRIBUCIÓN DE LA <i>Moringa oleifera</i> EN EL MUNDO.....	33
3.4.1. Área de distribución natural de la especie.....	33
3.4.2. Área de distribución artificial de la moringa.....	35
3.5. USOS Y APROVECHAMIENTOS DE LA <i>Moringa oleifera</i>	37
3.5.1. Hojas <i>Moringa oleifera</i> :.....	39
3.5.2. Flores.....	53
3.5.3. Fruto.....	53
3.5.4. Semillas.....	54
3.5.5. Tallo.....	60
3.5.6. Uso medicinal.....	61
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	63
4.1. MATERIALES Y MÉTODOS APLICADOS EN LA REALIZACIÓN DEL ESTUDIO.....	67
4.1.1. Recopilación de información de la <i>Moringa oleifera</i>	67
4.1.2. Recopilación de datos de Península Ibérica, Islas Baleares e Islas Canarias.....	70
4.1.3. Síntesis de la información.....	70

5. RESULTADOS.....	79
5.1. PARÁMETROS CLIMÁTICOS.....	79
5.1.1. Temperatura.....	80
5.1.2. Precipitación.....	104
5.2. POTENCIALES ÁREAS DE INTRODUCCIÓN DE LA <i>Moringa oleifera</i> EN LA PENÍNSULA IBÉRICA, ISLAS BALEARES E ISLAS CANARIAS...	112
5.2.1. Zonas potencialmente aptas para introducción.....	113
5.2.2. Potenciales Zonas Óptimas de introducción.	126
5.2.3. Potencial área de introducción de <i>Moringa oleifera</i>	131
6. CONCLUSIONES.....	135
BIBLIOGRAFÍA:	136
ANEXOS	145
ANEXO I. CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA DE KÖPPEN.....	146
ANEXO II. Agencia Estatal de Meteorología (AEMet).	152
ANEXO III. Sistemas de Información Geográfica (SIG).....	155
ANEXO IV. Datos Temperaturas Máximas (AEMet).....	157
MAPAS.....	160
MAPA 1: Posibles Zonas Aptas de introducción de <i>Moringa oleifera</i>	161
MAPA 2: Posibles Zonas Óptimas de introducción de <i>Moringa oleifera</i>	162
MAPA 3: Potencial Área de Introducción de <i>Moringa oleifera</i>	163

ÍNDICE DE TABLAS, FIGURAS Y FOTOGRAFÍAS.

TABLAS

Tabla 1: Leyenda mapa distribución del género <i>Moringa</i> , en el Cuerno de África.	13
Tabla 2: Germinación y crecimiento de la <i>Moringa oleifera</i> Lam. a media sombra y plena luz. Fuente: Alfaro, 2008.	20
Tabla 3: Propiedades físicas de la vaina y las semillas.1: Foildt et al. (2001), ..2: Proyecto Biomasa (1996). Fuente: Paliwal et al., 2011.	23
Tabla 4: Análisis químico hojas frescas de moringa. Fuente: Pérez, 2012	43
Tabla 5: Contenido en macronutrientes del polvo de <i>Moringa oleifera</i> en 100 g de porción comestible. Fuente: Pérez, 2012.	44
Tabla 6: Contenido en vitaminas del polvo de <i>Moringa oleifera</i> en 100 g de porción comestible. Fuente: Pérez, 2012.	45
Tabla 7: Contenido de minerales del polvo de <i>Moringa oleifera</i> en 100 g de porción comestible. Fuente: Pérez, 2012.	45
Tabla 8: Contenido en aminoácidos del polvo de <i>Moringa oleifera</i> en g/kg. Fuente: Pérez, 2012.	46
Tabla 9: Carotenoides en diferentes fracciones morfológicas de <i>Moringa oleifer</i> . Fuente: Pérez, 2012.	47
Tabla 10: Datos de experimentos en Centroamérica. Fuente: Sitio web 3.	48
Tabla 11: Contenido nutricional vainas frescas moringa.	54
Tabla 12: Caracterización de la estación. Elaboración propia de la tabla.	64
Tabla 13: Parámetros ecológicos seleccionados. Fuente: elaboración propia.	69
Tabla 14: Criterios de la Clasificación de Köppen. Fuente: elaboración propia.	147
Tabla 15: Sub-climas Tropicales (Clima A).	147
Tabla 16: Sub-climas Áridos (Clima B).	148
Tabla 17: Sub-climas Templados. (Clima C). Fuente: elaboración propia.	149
Tabla 18: Sub-climas Fríos (Clima D). Fuente: elaboración propia.	149
Tabla 19: Sub-climas Polares (Clima E).	150
Tabla 20: Temperaturas máximas de Andalucía ≥ 48 °C. Fuente: AEMet.	157
Tabla 21: Temperaturas máximas de Aragón ≥ 48 °C. Fuente: AEMet.	157
Tabla 22: Temperaturas máximas de Castilla y León ≥ 48 °C. Fuente: AEMet.	158
Tabla 23: Temperaturas máximas de Extremadura ≥ 48 °C. Fuente: AEMet.	159
Tabla 24: Temperaturas máximas de Murcia ≥ 48 °C. Fuente: AEMet.	159

FIGURAS

Figura 1: Distribución geográfica del género <i>Moringa</i>	11
Figura 2: Distribución geográfica de especies del género <i>Moringa</i> en el Cuerno de África. Fuente: Sitio web 9.....	12
Figura 3: Área de distribución natural de la moringa. Fuente: Parrota.	34
Figura 4: Área de distribución natural de <i>Moringa oleifera</i> en la India. Fuente: Sitio web 10.....	34
Figura 5: Países donde se ha registrado <i>Moringa oleifera</i> natural o introducida.	35
Figura 6: Distribución de <i>Moringa oleifera</i> en territorio estadounidense. Fuente: Sitio web 18.....	36
Figura 7: Distribución geográfica de <i>Moringa</i> en Australia. Fuente: Navie & Csurhes, 2010.	37
Figura 8: Usos de la moringa. Autor: Godino, 2011.	38
Figura 9: Propiedades nutritivas. Sitio web 22	39
Figura 10: Contenido en Calcio	40
Figura 11: Contenido en Hierro	40
Figura 12: Contenido en Vitamina A.....	40
Figura 13: Contenido de Vitamina C	40
Figura 14: Contenido de Potasio.....	41
Figura 15: Contenido de Proteína	41
Figura 16: Países con problemas de desnutrición en la actualidad. Fuente: Sitio web 22.....	42
Figura 17: Áreas donde crece la moringa (natural o cultivo). Fuente: Sitio web 22.	42
Figura 18: Hojas frescas moringa. Fuente Sitio web 12.	43
Figura 19: Usos medicinales. Fuente: Paliwal et. Al. 2011.....	62
Figura 20: Clasificación de Köppen en la Península Ibérica e Islas Baleares. Fuente: AEMet 2011.	65
Figura 21: Clasificación de Köppen en las Islas Canarias. Fuente: AEMet 2012.	66
Figura 22: Calculadora ráster.....	72
Figura 23: Ejemplo aplicación calculadora ráster.....	73
Figura 24: Resultado aplicación calculadora ráster.....	74
Figura 25: Aplicación operador booleano.....	75
Figura 26: Resultado tras aplicar el operador booleano “and (&)”.....	76
Figura 27: Aplicación calculadora para obtener un modelo final.	77
Figura 28: Temperatura media de invierno > -1 °C en la Península Ibérica e Islas Baleares.....	80
Figura 29: Temperatura media de invierno > -1 °C en Islas Canarias.....	81
Figura 30: Temperatura media anual de la Península Ibérica e Islas Baleares. Fuente: AEMet, 2011.	83
Figura 31: Temperatura media anual de las Islas Canarias. Fuente: AEMet, 2012.	84
Figura 32: Temperatura media anual > 13 °C en las Islas Canarias	85
Figura 33: Temperatura media anual > 13 °C en la Península Ibérica e Islas Baleares.....	85

Figura 34: Temperatura media primavera > 13 °C en la Península Ibérica e Islas Baleares.....	86
Figura 35: Temperatura media de primavera > 13 °C en las Islas Canarias. ...	87
Figura 36 Temperatura media de otoño > 13 °C, en la Península e Islas Baleares.	87
Figura 37: Temperatura media de otoño> 13 °C en las Islas Canarias.....	88
Figura 38: Temperatura media de verano > 13 ° C en la Península Ibérica e Islas Baleares.....	88
Figura 39: Temperatura media de verano > 13 °C en las Islas Canarias.....	89
Figura 40: Temperatura media de junio > 25 °C en la Península Ibérica e Islas Baleares.....	91
Figura 41: Temperatura media del mes de julio > 25 °C en la Península Ibérica e Islas Baleares.....	92
Figura 42: Temperatura media de julio > 25 °C en las Islas Canarias.....	93
Figura 43: Temperatura media de agosto > 25 °C en la Península Ibérica e Islas Baleares.	93
Figura 44: Temperatura media de agosto > 25 °C en las Islas Canarias.	94
Figura 45: Temperatura media de julio y agosto > 25 °C en la Península Ibérica e Islas Baleares.....	95
Figura 46: Temperatura media de septiembre > 25 °C en las Islas Canarias. .	96
Figura 47: Temperatura media del mes más frío (enero) oscila entre los 0 °C y los 18 °C en la Península e Islas Baleares.....	97
Figura 48: Temperatura media del mes más cálido (julio) > 22 °C en la Península e Islas Baleares.....	98
Figura 49: Precipitación media del mes más seco (julio) > 30 mm en la Península e Islas Baleares.....	99
Figura 50: Clima “Cfa” de la Clasificación de Köppen en la Península e Islas Baleares.....	100
Figura 51: Zonas de clima compatible con “C” y “a” de la Clasificación de Köppen en la Península e Islas Baleares.....	101
Figura 52: Temperatura media del mes más frío (enero) oscila entre los 0 °C y los 18 °C en las Islas Canarias.....	102
Figura 53: Temperatura media del mes más cálido (agosto) > 22 °C en las Islas Canarias.....	103
Figura 54: Precipitación media del mes más seco (julio) > 30 mm en las Islas Canarias.....	103
Figura 55: Zonas de clima compatible con “C” y “a” de la Clasificación de Köppen en las Islas Baleares.....	104
Figura 56: Precipitación media anual de la Península Ibérica e Islas Baleares. Fuente: AEMet, 2011.	106
Figura 57: Precipitación media anual de las Islas Canarias. Fuente: AEMet, 2012.	107
Figura 58: Intervalos de precipitación media anual en la Península Ibérica e Islas Baleares.....	110
Figura 59: Intervalos de precipitación media anual en las Islas Canarias.....	111
Figura 60: Zonas APTAS en cuanto a temperaturas en la Península Ibérica e Islas Baleares.....	114
Figura 61: Zonas APTAS en cuanto a temperaturas en las Islas Canarias....	114

Figura 62: Zonas Potencialmente Aptas con OBLIGATORIO uso de riego en la Península Ibérica e Islas Baleares.	116
Figura 63: Zonas Potencialmente Aptas con OBLIGATORIO uso de riego en las Islas Canarias.....	116
Figura 64: Zonas Potencialmente Aptas con PROBABLE uso de riego en la Península Ibérica e Islas Baleares.	117
Figura 65: Zonas Potencialmente Aptas con PROBABLE uso de riego en las Islas Canarias.....	118
Figura 66: Zonas Potencialmente APTAS para introducción de la <i>Moringa oleífera</i> en la Península Ibérica e Islas Baleares.....	119
Figura 67: Zonas Potencialmente APTAS para introducción de la <i>Moringa oleífera</i> en las Islas Canarias.	119
Figura 68: Zonas aptas con posible riesgo por exceso de precipitación en la Península Ibérica y Baleares.....	120
Figura 69: Zonas aptas con posible riesgo por exceso de precipitación en las Islas Canarias.....	121
Figura 70: Zonas No Aptas por exceso de precipitación en la Península Ibérica e Islas Baleares.....	122
Figura 71: Zonas No Aptas por exceso de precipitación en las Islas Canarias.	122
Figura 72: Detalle del suroeste de la Península de las Potenciales Zonas Aptas de introducción de la especie.	124
Figura 73: Detalle del sureste de la Península, litoral Mediterráneo e Islas de Ibiza y Formentera, de las Potenciales Zonas Aptas de introducción de la especie.....	124
Figura 74: Potenciales Zonas Aptas de introducción de la especie en las Islas Canarias.....	125
Figura 75: Zonas APTAS en cuanto a temperaturas en las Islas Canarias....	127
Figura 76: Zonas ÓPTIMAS en cuanto a temperaturas en la Península Ibérica e Islas Baleares.....	127
Figura 77: Detalle del suroeste de la Península de las Potenciales Zonas óptimas de introducción de la especie.	129
Figura 78: Detalle del sureste de la Península, litoral Mediterráneo e Islas de Ibiza y Formentera, de las Potenciales Zonas Óptimas de introducción de la especie.....	130
Figura 79: Detalle del suroeste de la Península de la Potencialidad Área de introducción de la <i>Moringa oleífera</i>	132
Figura 80: Detalle del sureste de la Península, litoral Mediterráneo e Islas de Ibiza y Formentera de la Potencialidad Área de introducción de la <i>Moringa oleífera</i>	133
Figura 81: Potencialidad Área de introducción de la <i>Moringa oleífera</i> en las Islas Canarias.....	134
Figura 82: World map of Köppen-Geiger climate classification. Fuente: Peel et al., 2007.....	151

FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1: <i>Moringa oleifera</i> de tres años. Fuente: Universidad de Pretoria.	14
Fotografía 2: Raíz de <i>Moringa oleifera</i> . (Coello). Autor: Godino, 2011.....	14
Fotografía 3: Flor de <i>Moringa oleifera</i>	15
Fotografía 4: Flores fructificadas con vaina de color verde.	15
Fotografía 5: Interior de la vaina.....	16
Fotografía 6: Fruto maduro (vainas) de <i>Moringa oleifera</i> . Autor: Vargas, 2010.	16
Fotografía 7: Semilla <i>Moringa oleifera</i> . Autor: Otavo 2011.....	16
Fotografía 8: Rebrotos de <i>Moringa oleifera</i> . Fuente: Alfaro, 2008.....	19
Fotografía 9: Brotes a los cinco días del corte. Autor: Godino, 2011	19
Fotografía 10: Germinación de la moringa. Fuente: Muhl et al., 2009.....	19
Fotografía 11: Esquejes de moringa antes de ser plantados. Fuente: Saint Sauveur & Broin, 2010.	21
Fotografía 12: Esquejes de moringa comenzando a brotar. Fuente: Saint Sauveur & Broin, 2010.	21
Fotografía 13: Detalle de vaina y almacenaje de semillas en Coello. Autor: Godino, 2011.....	22
Fotografía 14: <i>Gitona distigma</i>	27
Fotografía 15: <i>Eupterote mollifera</i>	27
Fotografía 16: <i>Noorda blitealis</i>	27
Fotografía 17: Ataque de oruga (Ghana). Autor: Saint Sauveur & Broin 2010.	28
Fotografía 18: Ataque de hongos en hojas de moringa (Ghana). Autor: Saint Sauveur & Broin 2010.	28
Fotografía 19: Polvo de moringa. Fuente: Sitio web 3.....	44
Fotografía 20: Cerdos alimentándose de hojas de moringa frescas. Fuente: Pérez (2012).....	49
Fotografía 21: Pélets de <i>Moringa oleifera</i> . Autor: Godino, 2013.....	50
Fotografía 22: Vainas frescas.....	53
Fotografía 23: Gel de ducha de moringa Fuente: The Body Shop.	55
Fotografía 24: Madera de <i>Moringa oleifera</i> . Fuente: Sitio web 21.....	60

1. INTRODUCCIÓN

La *Moringa oleifera* Lam., es un árbol multipropósito, conocido por sus propiedades alimenticias, medicinales y oleaginosas. Las múltiples cualidades de esta especie, hacen que sea conocida como “Árbol milagroso” o “El árbol de la vida”.

A pesar de una planta con multitud de usos, es una gran desconocida en los países desarrollados. Quizás pueda deberse a lo que asegura la publicación del National Research Council, Lost Crops of Africa (2006): “Los forestales, probablemente la rechazan porque es básicamente un cultivo alimenticio, los agrónomos porque es un árbol; los fruticultores porque es un vegetal”.

Un grupo de Médicos Sin Fronteras, en una de las hambrunas del Cuerno de África en la década de los setenta, redescubrieron la planta, iniciándose los estudios sobre ella. Hoy en día, sigue investigándose sobre todo en sus propiedades nutritivas, medicinales y como especie forrajera (Pérez, 2012).

Originaria del sur del Himalaya, actualmente se encuentra naturalizada en más de setenta países de las regiones tropicales y subtropicales del mundo, en su mayoría en regiones poco desarrolladas. Su cultivo está en auge por toda Iberoamérica, llegando hasta los estados de California, Arizona y Florida en los Estados Unidos (Falasca & Bernabé, 2008).

Con gran variedad de nombres vernáculos, uno de los más utilizados en castellano es el nombre de moringa. A pesar de su amplia distribución, su cultivo todavía lo es a pequeña escala. Esto podría deberse a la falta de estudios científicos precisos y exhaustivos, que potencien su cultivo (Muhl et al., 2011) o bien, a que las regiones donde se localiza carecen de recursos.

Como método de trabajo, se ha optado por hacer una recopilación de la literatura existente acerca de la especie, haciendo especial énfasis en las características ecológicas y en su distribución, para conocerla lo más posible. Tras lo cual, se inicia el proceso de deducción del área de potencial

introducción de la moringa en la Península Ibérica, Islas Baleares e Islas Canarias.

Además, debe tenerse en cuenta que, por desgracia, los estudios realizados son de zonas tropicales, son muy limitados y con resultados muy variables. Por lo que la escasa información científica que existe sobre la planta, limita mucho la posibilidad de hacer un estudio más exhaustivo. Siendo conscientes que con más información la evaluación de las posibles zonas podría ser de más detallado, se presenta a continuación el estudio de las posibles zonas de introducción de la *Moringa oleífera* en la Península Ibérica, Islas Baleares e Islas Canarias.

2. OBJETIVO

El objetivo principal del presente proyecto es el estudio de la posibilidad de introducción de la *Moringa oleífera* en la Península Ibérica, Islas Baleares e Islas Canarias.

Como estudio previo se hace un análisis de la *Moringa oleífera*, para dar a conocer como cultivo sus potenciales usos, por los que puede resultar interesante la introducción, así como su distribución actual (tanto en la región de origen, como donde se ha introducido) y sus características ecológicas. De esta manera, se consigue una clasificación de los parámetros ecológicos que definen el hábitat de la especie. Pues serán determinantes para conocer si es posible su introducción en el territorio objeto del estudio.

Para conocer la aptitud de la Península, las Islas Baleares y el archipiélago Canario para la introducción de la moringa, se va a realizar un análisis de sus parámetros ecológicos (fisiográficos, climáticos y edáficos) de la especie en el territorio objeto de estudio. Para finalmente conocer las áreas potenciales de introducción de la *Moringa oleífera* en la Península Ibérica, Islas Baleares e Islas Canarias.

3. CARACTERÍSTICAS DE LA *Moringa oleifera*.

3.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA ESPECIE.

Ya en el texto de medicina ayurvédica Sushruta Samhita, de principios del siglo I, se conocen referencias a la *Moringa oleifera*, aunque su presencia en la India, se remonta a épocas remotas, alrededor del 2.000 a.C. Los hindúes ilustrados ya conocían las propiedades del aceite de moringa y la utilizaban con fines medicinales, y probablemente supieran de su valor como especie forrajera (Bhishagratna, 1963; Foild et al., 2001; Jahn, 1989).

También los primeros romanos, griegos y egipcios, conocían la moringa, tanto *Moringa peregrina* Forssk. ex Fiori, originaria de esta región de África, como *Moringa oleifera* de la que extrajeron el aceite de las semillas para proteger la piel, en perfumes y en ungüentos para la momificación (Fahey, J.W., 2005; Navie, S. & Csurhes, S. 2010). En Egipto, era muy frecuente su presencia en jardines. Se la consideraba como una “emanación del ojo Horus” y aparece identificada con el dios Ptah.

En la Biblia “Y Moisés clamó a Jehová, y Jehová le mostró un árbol; y lo echó en las aguas, y las aguas se endulzaron.” (Éxodo 15:22-27), el libro del Éxodo hace referencia a una planta purificadora del agua, que varios autores señalan que podría ser la *Moringa oleifera*, aunque como se citó con anterioridad, podría tratarse de *Moringa peregrina* (Pérez, 2012). La *Moringa oleifera* fue introducida en Egipto antes del 350 a.C.

La moringa fue introducida en América por el intercambio de plantas realizado por los españoles con la Nao de Filipinas, habiéndose encontrado referencias a esta especie en envíos de 1782, 1793, 1797 y 1872 (Pacheco, 2006). También se cita en el Elenco de plantas del Real Huerto Botánico de Madrid de 1746 (Anónimo, 1746).

Aunque existen referencias de su uso como alimento y como poste vivo en las Antillas francesas y Cuba, en la primera mitad del siglo XIX, y en Trinidad a

mediados de siglo (Sitio web 5). También hay constancia de que a finales del siglo XIX en Nicaragua se utilizaba como alimento para el ganado.

Podrían considerarse incorrectas las fechas de su introducción en América, ya que se han encontrado referencias a esta especie en los cajones que envió Don Juan de Cuéllar (botánico de la corte real española en Filipinas) a Méjico en la Nao de Acapulco en 1797 (Sitio web 6).

La causa que pudo llevar a creer que la moringa fue introducida en América Central en los años 20, pudo deberse a que en esta época fue cuando el médico paraguayo Moisés Bertoni, le atribuyó propiedades curativas (Maíz, N. 2011).

En la actualidad su cultivo en Iberoamérica está en auge. Abarcando desde California, hasta Argentina, pasando por Chile, Arizona y Florida. (Falasca & Bernabé, 2008)

En África fue introducida hace más de mil años, y está distribuida por todos los países costeros del continente. También se localiza en Australia y Península Arábiga (Foild et al., 1999; Navie & Csurhes, 2010).

Hasta finales del siglo XIX su aceite fue utilizado en Europa en maquinaria y en perfumes, procedente de las plantaciones caribeñas (Pérez, 2012).

En cuanto a lo que se refiere al cultivo de la especie en la Península Ibérica en la antigüedad, investigadores del CSIC (Centro Superior de Investigaciones Científicas) en agricultura y etnobotánica de la cultura ibero-islámica y cristiana, no descartan su cultivo en lugares de Al-Andalus (Carabaza et al., 2004). La especie ha sido identificada como BĀN, en textos de la época.

En España en los últimos años varias empresas se han interesado en la moringa. En 1999, la empresa Agrodesierto SL, ha desarrollado en una de sus líneas principales de actuación de sus programas agroforestales, la moringa como árbol de uso múltiple en zonas áridas y semiáridas (Sitio web 3). La empresa Xerics – C.A.B. SL, especializada en cultivos energéticos para desarrollo sostenible, ha desarrollado una importante labor de I+D, en el estudio de cultivos en zonas áridas, semiáridas y salinizadas, y entre las

especies del estudio estuvo la *Moringa oleifera*. En este momento, sus programas se hayan suspendidos por causas de logística, aunque se está trabajando en una reedición del programa para seguir trabajando en proyectos con esta especie. La empresa española Moringa SL, nació en 2007, con el fin de cultivar la moringa en viveros de Almería, y exportarla a Latinoamérica con fines nutricionales.

La Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal de Madrid, en 2008 inició un programa de cooperación, en colaboración con la Universidad del Tolima en Colombia y la Universidad Surcolombiana (USCO), cuyo objetivo principal es el desarrollo de cooperativas con fines oleícolas. Recientemente, esta Escuela ha iniciado una colaboración con la empresa Agroforestal Siglo XXI, con el fin de producir moringa con fines oleícolas y forrajeros, en el sur de la Península.

En la Universidad de Extremadura y la Universidad Politécnica de Valencia, han realizado estudios con semillas de moringa, para su uso como floculante (García-Fayos et al., 2010).

En la actualidad la *Moringa oleifera* es la especie de la familia *Moringaceae* más cultivada. Originaria del sur del Himalaya desde el noreste de Pakistán hasta el Noroeste de Bengala, India (Sharma et al., 2011) ha sido introducida y naturalizada en otros países como Afganistán, Bangladesh, Sri Lanka, Península Arábiga, y llegando a lugares como el Este y Oeste de África, Florida, Méjico, Perú, Paraguay y Brasil, entre otros.

3.2. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DE LA *Moringa oleifera*.

3.2.1. Identificación taxonómica de la especie.

Según la clasificación de Cronquist A. (Cronquist A., 1981), esta especie taxonómicamente se encuentra en:

Reino *Plantae* Haeckel, 1896

División *Magnoliophyta* Cronquist, Takht. & Zimmerm., 1966

Subclase *Dilleniidae* Takht., 1966

Orden *Capparales* Hutch., 1966

Familia *Moringaceae* Dumort., 1829

Género *Moringa* Adans., 1763

Especie *Moringa oleifera* Lam., 1785

Según la clasificación más actualizada (2009) del APG III (Angiosperm Phylogeny Group) que se basa en criterios filogenéticos, la situación taxonómica de la moringa es:

Clase *Eudicotyledoneae* Doyle y Hotton, 1991

Subclase *Magnoliidae* Novák ex Takht., 1967

Clado *Malvidae* W.S. Judd, D.E. Soltis & P.S. Soltis., 2007

Orden *Brassicales* Bromhead, 1838

Familia *Moringaceae* Martinov, 1820

Género *Moringa* Adans., 1763

Especie *Moringa oleifera* Lam., 1785

Sinónimos de la *Moringa oleifera*: *Anoma moringa* (L.) Lour., *Guilandina moringa* L., *Hyperanthera decandra* Willd., *Hyperanthera moringa* (L.) Vahl, *Hyperanthera pterygosperma* Oken, *Moringa edulis* Medic., *Moringa erecta* Salisb., *Moringa moringa* (L.) Small, *Moringa myrepsica* Thell., *Moringa nuxeben* Desf., *Moringa octogona* Stokes, *Moringa oleifera* Lour., *Moringa parviflora* Noronha, *Moringa polygona* DC., *Moringa pterygosperma* Gaertn., *Moringa zeylanica* Pers., *Copaiba langsdorfii* (Desf.) Kuntze, *Copaifera langsdorfii* Desf., orth. var., *Copaifera nitida* Hayne, *Copaifera sellowii* Hayne, *Moringa pterygosperma* Gaert., *Moringa moringa* (L.) Millsp., *Moringa nux-ben* Perr., *Hyperanthera moringa* Willd., *Moringa zeylanica* Burmann (Navie & Csurhes, 2010; Sitio web 8).

Se la conoce con varios nombres vernáculos: árbol del ben, ben, morango, moringa (español); horseradish tree, radish tree, drumstick tree, mother's best friend, West Indian ben (inglés); bèn ailé, benzolive (francés); behenbaum (alemán); sándalo cerúleo (italiano); moringuiero, acácia branca (portugués); cedro (Brasil); la-banyu (Burkina Faso); paizlava (Camerún); mlonge (Kenia); anamambo (Madagascar); gawara (Nigeria); neverday (Senegal); ruwag, alim (Sudán); mlonge (Tanzania); zakalanda (Zimbawe); kalungai (Filipinas); munga ara, sajna, saragavo, saragvo, sanjna, saijna (India); kelor, tjelor (Indonesia); Sitachini (Nepal); Saijan, Sohanjna (Pakistán); angela (Colombia); marango, marangon (Costa Rica); acacia, ben (Cuba); ceiba (El Salvador); perla, perlas, paraíso blanco (Guatemala); marango, maranjo (Guatemala); ben, la libertad (República Dominicana); entre otros (Navie & Csurhes, 2010; Pérez, 2012; Sitio web 8).

3.2.2. Familia *Moringaceae* y Género *Moringa*.

Las moringáceas son una familia de árboles de hoja caediza y corteza gomosa. Hojas compuestas alternas, doble o triplemente pinnadas, con folíolos opuestos y sin estípulas. Son características las glándulas que tienen en el ápice del folíolo y en la mayoría de las articulaciones del raquis. Flores dispuestas en

pánulas axilares, de color rojo o blanco, irregulares, con 5 pétalos, 5 sépalos, 5 estambres funcionales y varios estaminodios. Fruto en cápsula larga y dehiscente, leñosa, que al abrirse se separa en tres valvas longitudinales, con varias semillas con tres alas o no aladas (Olson & Fahey, 2011; Pérez 2012).

La familia *Moringaceae* es un pequeño grupo dentro del orden de las *Brassicales*, donde se encuentran especies como el rábano, la col o las alcaparras (APG III). La familia de la papaya (*Caricaceae*) es la más próxima a la *Moringaceae*, compartiendo la característica de tener glándulas en el ápice del pecíolo (Olson & Fahey, 2011).

El género *Moringa* es el único de la familia *Moringaceae*. Lo forman árboles y arbustos inermes; las raíces y el cámbium desprenden un olor penetrante, además este último secreta goma. Hojas compuestas, 2-3-imparipinnadas, con foliolos opuestos y enteros; estípulas interpeciolulares, reducidas; brácteas de la inflorescencia reducidas. Flores con cinco sépalos desiguales, patentes, reflexos, imbricados, y cinco pétalos blancos, con algún matiz rosa o rojo, desiguales, los dos superiores más pequeños; disco con margen entero; estambres insertados en el borde del disco, con filamentos libres y anteras uniloculares, dorsifijas, dobladas hacia abajo, y oblongas; ovario estipitado, lanceolado, unilocular con multitud de óvulos en dos series, fijos en tres placentas parietales; estilo truncado en el ápice. Fruto en cápsula, trivalvado, fusiforme, 3-6-angulado, rostrado; semillas aladas, con alas petaloides, membranáceas (Sitio web 1).

Moringa oleifera Lam., es una de las 13 especies del género *Moringa*, que se distribuyen desde África, Madagascar, Este de Asia hasta el subcontinente Indio (Olson, 2009).

Las especies del género *Moringa* en el pasado han sido clasificadas en tres grandes grupos por Mark Olson, del Missouri Botanical Garden, y el Ph.D. Sherwin Carlquist del Santa Barbara Botanical Garden, según su forma de vida, sus caracteres morfológicos y su área de distribución (Olson & Carlquist, 2001; Pérez, 2012; Sitio web 9):

- “Bootle tree” (árboles botella): formado por cuatro especies, procedentes principalmente de África y Madagascar, con troncos gruesos con forma similar al baobab y flores con simetría radial. Pertenecen a este grupo las especies *Moringa drouhardii* Jum., *Moringa hildebrandtii* Engl., *Moringa ovalifolia* Dinter ex Berger y *Moringa stenopetala* (Baker f.) Cufodontis.
- “Slender trees” (árboles esbeltos): donde predominan las fibras libriformes en las raíces, haciendo que sean las más resistentes del género. Flores con simetría bilateral. Las especies que lo forman son *Moringa oleifera*, además de la *Moringa concanensis* Nimm. y la *Moringa peregrina* Forssk. ex Fiori.
- “Sarcorhizal trees y los tuberous shrubs” (arbustos tuberosos): Los arbustos tuberosos, grupo formado por las especies *Moringa borziana* Matt., *Moringa longituba* Engl., *Moringa pygmaea* Verd. y *Moringa rivaie* Chiov. muestran una homogeneidad considerable dentro de la estructura anatómica. Las dos especies de “sarcorhizal trees”, que son *Moringa arborea* Verd. y *Moringa ruspoliana* Engl., muestran marcadas diferencias anatómicas entre ellas, a pesar de su similitud en la forma de vida. Aunque se pueden asociar diferentes características con algunas de las otras especies de arbustos tuberosos por lo que se incluyen en el grupo.

De todas ellas, las principales especies productoras de aceite son *Moringa ovalifolia*, *Moringa drouhardii*, *Moringa concanensis*, *Moringa peregrina*, *Moringa oleifera* y *Moringa stenopetala*.

Moringa oleifera es la especie de la familia *Moringaceae* con mayor distribución y naturalizada en más países (Anwar et al., 2007).

Las tres especies que crecen en la zona del Mar Rojo, Eritrea, Sudán, Arabia Saudí, Yemen, Omán, Pakistán y el subcontinente Indio, son las que pertenecen al grupo de los árboles esbeltos ("Slender trees"). Grupo formado por *Moringa oleifera*, *Moringa peregrina* y *Moringa concanensis*. Son las especies más conocidas y con mayor valor económico de la familia.

El Cuerno de África, con ocho especies, es el centro de mayor diversidad del género. Siete de las especies son endémicas de África nororiental, *Moringa rivaie*, *Moringa ruspoliana*, *Moringa arborea*, *Moringa longituba*, *Moringa borziana*, *Moringa pygmaea* y *Moringa stenopetala*. La única especie no endémica y que comparte hábitat en el norte de Somalia es *Moringa peregrina*. (Olson & Carlquist, 2001; Sitio web 9).

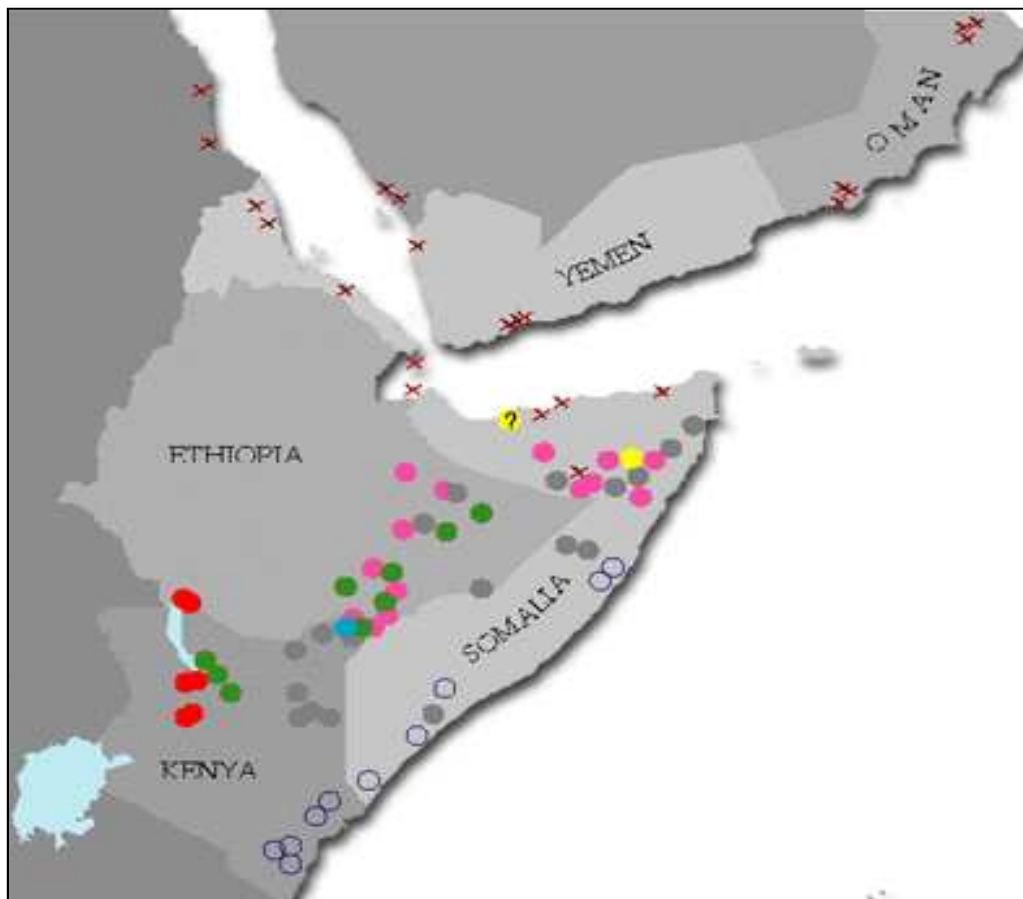


Figura 2: Distribución geográfica de especies del género *Moringa* en el Cuerno de África. Fuente: Sitio web 9

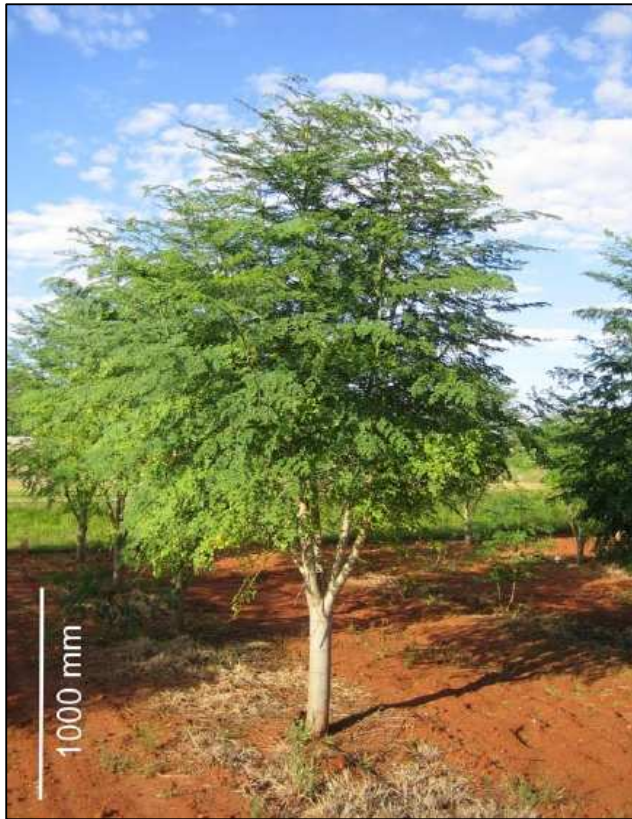
Leyenda Mapa Cuerno de África	
Cruces Rojas	<i>Moringa peregrina</i>
Punto Amarillo	<i>Moringa pygmaea</i>
Punto Gris	<i>Moringa longituba</i>
Punto Rosa	<i>Moringa ruspoliana</i>
Punto Verde	<i>Moringa rivaie</i>
Círculo Azul	<i>Moringa M. borziana</i>
Punto Rojo	<i>Moringa stenopetala</i>
Punto Turquesa	<i>Moringa arborea</i>

Tabla 1: Leyenda mapa distribución del género *Moringa*, en el Cuerno de África.
Fuente: Sitio web 9

La confusa y escasa información acerca de la distribución del género *Moringa* en el Cuerno de África, pone de manifiesto lo poco estudiadas que son estas tierras secas. Dos de las especies, *Moringa pygmaea* y *Moringa arborea*, sólo han sido vistas dos veces cada una. *Moringa stenopetala* es muy común su cultivo, pero sólo se localizan cinco ejemplares en la naturaleza.

3.2.3. Morfología.

La moringa es un árbol de crecimiento rápido que puede alcanzar hasta los 12 metros de altura, con un promedio de vida de 20 años. Perennifolio en climas tropicales y de hoja caduca en climas subtropicales, perdiendo la hoja por estrés hídrico (Muhl et al., 2011). Las ramas jóvenes son pelosas, con tricomas de hasta 0,3 mm, erectos, crespos. Hojas compuestas, alternas, bi-tri-imparipinnadas de 15-35 x 8-25 cm, foliolos de 0,4- 2,4 x 0,3-1,2 cm, obovados, haz y envés pelosos, con tricomas de hasta 0,3 mm, erectos y crespos; estípulas interpecioculares de 1,5 – 2,0 mm, de lineares a subuladas. Brácteas de 1,5 a 2 mm, angostadas, deltadas a lineares (Lamarck, J-B.P.M., 1975).



Fotografía 1: *Moringa oleifera* de tres años. Fuente: Universidad de Pretoria.

La raíz principal es de tipo pivotante y globosa, mide varios metros lo que le permite tener cierta resistencia a la sequía. Cuando se le hacen cortes, produce una goma de color rojizo parduzco (Alfaro, 2008; Sitio web 3).



Fotografía 2: Raíz de *Moringa oleifera*. (Coello). Autor: Godino, 2011

Flores bisexuales de 1,0-3,3 x 0,4-1,0 cm, en inflorescencias racemosas; con cinco sépalos y cinco pétalos de color blanco o cremoso, frecuentemente con pequeños matices rojizos en la base; cinco estambres fértiles con anteras

amarillas, y cinco estambres estériles sin anteras; estilo delgado; pecioloos verdes, que pueden tornarse en color morado, al igual que la vaina fresca. (Pérez, 2012).



Fotografía 3: Flor de *Moringa oleifera*.
Autor: Godino, 2011.

En el norte de India y en otras regiones atemperadas, florece una sola vez al año (entre abril y junio, en el hemisferio norte). Pero puede florecer dos veces al año, como sucede en el sur de India o durante todo el año en lugares donde no hay cambios de temperatura y precipitación a lo largo del año, como ocurre en los países caribeños (Liñan, 2010).



Fotografía 4: Flores fructificadas con vaina de color verde.
Autor: Godino, 2011.

El fruto es una vaina lineal, que mide de 20 a 45 (125) cm y de 1 a 2 cm de grosor, formada por tres l gulas que si se cortan transversalmente se observa una evidente sección triangular con 12 a 25 semillas, dispuestas longitudinalmente (Foild et al., 1999; Lamarck, J-B.P.M., 1975).

Las semillas son carnosas y aladas, con tres alas de 2,5 a 3 mm de largo. Cubiertas de una fina cáscara color café, que al retirarla se observa el endospermo blanquecino y muy oleaginoso (Foild et al., 1999; Lamarck, 1975).



Fotografía 6: Fruto maduro (vaina) de *Moringa oleifera*. Autor: Vargas, 2010.



Fotografía 5: Interior de la vaina.
Autor: Otavo, 2011.



Fotografía 7: Semilla *Moringa oleifera*. Autor: Otavo 2011.

Un  rbol puede producir entre (300) 400 y 1.000 (1.600) vainas anualmente (Alfaro, 2008; Navie & Csurhes, 2010).

En su área natural y el resto de Asia, se considera a *Xylocopa latipes* y *Xylocopa pubescens* los agentes polinizadores más fiables. Otros importantes

agentes polinizadores son los pájaros de la familia Nectariniidae, como *Nectarina zeylanica* y *Nectarina asiatica* (Sitio web 23).

Al parecer, la moringa no necesita unos polinizadores específicos, ya que produce fácilmente semillas viables en todas las partes del mundo donde ha sido introducida (Navie & Csurhes, 2010).

Durante un estudio del sistema de reproducción de la *Moringa oleifera*, se observó que un 74% de las semillas provenían de polinización cruzada, y el restante 26% de autopolinización (Navie & Csurhes, 2010). Si bien estos datos pueden estar influenciados por factores medio ambientales, este estudio confirma que la moringa tiene un sistema de reproducción mixto, siendo capaz de reproducirse sexualmente a partir de un individuo.

En cuanto a la fenología de la especie, varía en función de la variedad y de su localización. Suele comenzar a una edad temprana, a menudo entre los primeros seis meses y el primer año tras su plantación (Parrota, 1993).

En las regiones de clima frío y en el hemisferio norte, florece una vez al año entre los meses de abril y junio, como es el caso del norte de la India. Mientras que en las zonas de trópico seco con período húmedo bimodal puede florecer dos veces al año o bien durante todo el año, donde las precipitaciones anuales y las temperaturas sean más constantes. En períodos secos, la floración se puede inducir con riegos (Parrota, 1993; Ramachandran et al., 1980).

En el hemisferio norte y por frío, pierde sus hojas de diciembre a enero, aunque en otras épocas del año durante las sequías también pierde las hojas. Por lo general, el nuevo crecimiento comienza de febrero a marzo, y la floración suele preceder o coincidir con la aparición de nuevas hojas. La época de floración suele continuar hasta marzo, mientras que los frutos maduran de abril a junio. La floración no se ve afectada por la duración del día (Navie & Csurhes, 2010).

3.2.4. Biología reproductora *Moringa oleifera*.

3.2.4.1. Crecimiento.

Se trata de un árbol poco longevo, que a lo sumo puede vivir 20 años, aunque en la India se han obtenido variedades anuales que permiten el cultivo mecanizado. Es una especie de crecimiento muy rápido. Aporta gran cantidad de nutrientes al suelo, además de protegerlo de factores externos como la erosión, la desecación y las altas temperaturas (Falasca & Bernabé, 2008).

Existe información muy variada en cuanto a su crecimiento. Pudiendo crecer, durante el primer año tres o incluso cinco metros en condiciones óptimas de temperatura y humedad (Alfaro, 2008; Foild et al., 1999; Sitio web 3). Odee, (1998) dice que existen individuos que alcanzan los 6-7 metros de altura en áreas donde recibe menos de 400 mm de precipitación anual media (Alfaro, 2008). Otros como Medina et al. (2007) habla de un crecimiento de dos metros a los ocho meses. Parrota (1993), afirma que en condiciones favorables puede crece uno o dos metros al año durante los primeros tres o cuatro años.

Alcanza los 7-12 metros de altura y los 20-30 (40) cm de diámetro (Foild et al., 1999; Parrota, 1993), aunque existen referencias de alturas de hasta 16 metros con diámetros normales de 75 cm en la India (Parrota, 1993).

Rebrota con gran facilidad tras el corte. Se han observado individuos viejos que han sido cortados a 20 cm del suelo y han producido de 18 a 22 brotes.

Aunque si el objetivo es obtener rebrotes para la reproducción asexual y para la regeneración de plantaciones, se puede realizar una poda severa a 30 o 50 cm del suelo, tal y como muestra la figura 8 (Alfaro, 2008).

Especie de luz o de temperamento robusto, pudiendo perder hasta un 30% de las plántulas jóvenes en ausencia de luz (Flores & Duarte, 2004).



Fotografía 8: Rebrotos de *Moringa oleifera*. Fuente: Alfaro, 2008.



Fotografía 9: Brotes a los cinco días del corte. Autor: Godino, 2011

3.2.4.2. Propagación.

La *Moringa oleifera* es una planta fácil de propagar, tanto por semilla como por material vegetativo. Dentro de la reproducción por material vegetativo, resulta más fácil por estacas que por acodo aéreo.

Las semillas carecen de periodo de latencia, por lo que pueden plantarse en cuanto estén maduras, y conservan la capacidad germinativa hasta un año (Pérez, 2012).



Fotografía 10: Germinación de la moringa. Fuente: Muhl et al., 2009.

Los porcentajes de germinación están influenciados por varios factores como la temperatura, el sustrato, condiciones de luz, el tiempo o las condiciones de almacenamiento. Estudios realizados en Brasil, demuestran que con temperaturas por encima de los 35°C se obtienen mayores porcentajes de germinación (un 99,5%). En cuanto al almacenamiento se obtienen mejores resultados, al cabo de un año de su recogida, si son envases de PVC en cámara fría (el 93%) (Pitombeira et al.). Otro factor condicionante es el grado de fertilidad de la semilla, la edad de producción del árbol y la edad de la semilla. Suelen germinar mejor si se introducen en agua a temperatura ambiente, 24 horas antes de la siembra (Alfaro, 2008). En condiciones normales el tiempo de germinación de la semilla oscila entre cinco y quince días.

El método de escarificación en agua caliente no es adecuado, ya que sumergir las semillas en agua a 92 °C durante un minuto afecta negativamente a la germinación; si se sumergen durante dos minutos todas las semillas mueren (Alfaro, 2008).

Tanto la germinación como el crecimiento de la plántula se ven muy afectados por las condiciones de luz, sobre todo durante los períodos cálidos del año, tal y como muestra la siguiente tabla (Alfaro, 2008):

Indicador de desarrollo	<i>Moringa oleifera</i> Lam.	
	Media sombra	Plena luz
% Germinación (cada grupo 50 semillas)	86	78
Período de latencia para la mayoría de semillas (días)	15-18	15-16
Tamaño promedio de los retoños 75 días después de la siembra (cm)	16,7	8
Tamaño máximo de los retoños 75 días después de la siembra (cm)	20	11

Tabla 2: Germinación y crecimiento de la *Moringa oleifera* Lam. a media sombra y plena luz.
Fuente: Alfaro, 2008.

Se observa un porcentaje de germinación de 86% frente a un 78% a plena luz; un tamaño máximo de los retoños 75 días después de la siembra de 20 cm, frente a los 11 cm que crecieron a plena luz.

En la propagación por estacas deben tener un mínimo de 2,5 cm de grosor y una longitud superior a 30 cm. Y debe plantarse antes de que comiencen las lluvias. A ser posible, deberá regarse diariamente (Alfaro, 2008).

En el sur de la India, es común plantar estacas de 1 a 1,4 metros con un diámetro de 4 ó 5 cm en la época de lluvias en verano (Parrota, 1993).



Fotografía 11: Esquejes de moringa antes de ser plantados.
Fuente: Saint Sauveur & Broin, 2010.



Fotografía 12: Esquejes de moringa comenzando a brotar.
Fuente: Saint Sauveur & Broin, 2010.

Si se comparan los árboles procedentes de ambos métodos de propagación se observa que, los procedentes de esqueje tienen un mayor crecimiento, un

desarrollo anterior de las vainas y de mayor calidad, pero un sistema radical poco desarrollado, haciéndole más sensible al estrés hídrico y a daños por viento (Parrota, 1993).

Estas diferencias hacen que resulte más apropiada la plantación en zonas áridas y semiáridas de individuos procedentes de semilla, ya que son suelos más inestables y la profundidad del agua subterránea supone límites en el crecimiento (Parrota, J.A. 1993).



Fotografía 13: Detalle de vaina y almacenaje de semillas en Coello. Autor: Godino, 2011.

3.2.4.3. Producción de frutos y semillas.

La producción de vainas comienza a una edad temprana, en torno a los seis u ocho meses en las que provienen de esqueje (Parrota, 1993). Un solo árbol puede producir 300 ó 400 vainas por año a los tres años de haber sido plantado, y un árbol ya maduro es capaz de producir 1.000 (1.600) vainas por año (Navie & Csurhes, 2010).

Cada vaina puede tener de 12 a 25 (26) semillas (Parrota, 1993), de manera que si se considera una media de 20 semillas por vaina, un ejemplar maduro puede

producir unas 20.000 (32.000) semillas anualmente. Si cada semilla tiene un peso medio de 0,3-0,4 g, lo que se traduce en 3.000-4.000 semillas por kg y en algunos casos en hasta 9.000 (Pérez, 2012).

En el siguiente cuadro se muestran las propiedades físicas de la vaina y la semilla de la *Moringa oleifera*:

Determinación	1	2
Peso promedio de la vaina	7,60	7,95
Peso promedio de las semillas(g)/vainas	3,59	4,83
Número promedio de semillas/vaina	12,0	16,0
Peso promedio (g)/100 semillas	29,9	30,2
Peso de por ciento del grano con relación a toda la semilla	72,5	74,5
Peso de por ciento de la cáscara con relación a toda la semilla	27,5	25,5
Humedad de la cáscara (%)	9,20	12,9
Humedad en la semilla entera (%)	5,80	7,50

Tabla 3: Propiedades físicas de la vaina y las semillas.1: Foildt et al. (2001), 2: Proyecto Biomasa (1996). Fuente: Paliwal et al., 2011.

La producción de frutos varía considerablemente en función de la variedad de moringa. En las variedades anuales PKM-1 y PKM-2, el número de vainas oscila entre 200 y 250 anualmente. Mientras que la variedad Coimbatore-1 produce hasta 1.250 vainas al año, siendo la variedad más productiva (Pérez C., 2012).

La época de producción de semillas es a partir de octubre (en el hemisferio norte), cuando comienzan a madurar, hasta el mes de abril de siguiente año. Las vainas maduras con semillas pueden permanecer en el árbol varios meses antes de abrirse y liberar las semillas. El ritmo de aumento de la producción es del 25% en el primer año, 50% en el segundo, 75% en el tercero y 100% en el cuarto (Pérez C., 2012).

3.2.4.4. Diseminación.

Resulta difícil encontrar literatura referente a la diseminación de la especie, pero si se puede, deducir a partir de la morfología de las semillas y de donde tiende a ubicarse en los lugares en que se naturaliza (Navie & Csurhes, 2010).

El tamaño relativamente grande de las semillas y su bajo peso, junto con que son aladas, hace suponer que pueda tener capacidad de volar a pequeñas distancias del árbol padre y ser dispersada por el viento. El agua también puede hacer de agente de dispersión en época de inundaciones (las vainas maduras y las semillas pueden flotar en el agua), y algunas poblaciones naturales, se encuentran a lo largo de vías fluviales (Navie & Csurhes, 2010). Quizás otros agente de diseminación sean los animales, ya que las semillas son comestibles y de agradable sabor cuando están frescas (Parrota, 1993).

3.2.5. Variedades de *Moringa oleifera*.

El cultivo de moringa en la India, se produce básicamente en el sur del país, en concreto en los estados de Tamil Nadu, Karnataka, Kerala y Andhra Pradesh, donde desde hace tiempo se cultivan variedades perennes para la producción de vainas.

Las variedades perennes tienen varios inconvenientes en cuanto a la producción, como mayor necesidad de días de lluvia en lugares donde escasea el agua, vulnerabilidad a plagas y enfermedades, no existe disponibilidad de material de siembra y períodos de pre-fructificación relativamente largos (Pérez, C. 2012).

La necesidad de solventar estos problemas llevó a los científicos de la Escuela de Horticultura y el Instituto de Investigación de la Universidad Agrícola de Tamil Nadu, en Periyakulam, a desarrollar variedades con mayor rendimiento como Periyakulam 1 (PKM-1) y Periyakulam 2 (PKM-2). Su gran adaptabilidad a variadas condiciones climáticas y suelos, han hecho se haya reemplazado

alrededor de un 60% del área productiva en los estados citados anteriormente del sur de la India (Sitio web 17).

A continuación se describen las diferentes variedades de moringa:

3.2.5.1. Variedad PKM-1:

Variedad de pequeña o mediana estatura. Sólo se propaga por semilla. Desarrollada por selección de genotipos locales para optimizar la producción de vainas. Las vainas alcanzan 60-70 cm de largo, unos 6,3 cm de grosor y un peso de 120 g. Produce de 220 a 250 frutos por árbol con un rendimiento de 50-54 toneladas por hectárea. Además, esta variedad posee la ventaja que, al ser anual, la incidencia de enfermedades y plagas es menor (Lalas & Tsaknis, 2001; Sitio web 17; Sitio web 15).

3.2.5.2. Variedad PKM-2:

Variedad de estatura media, que puede propagarse fácilmente por semilla. Es un híbrido derivado del cruce de MP 31 (*Eppodumvendran*) y MP 28 (*Arasaradi local*), que fue seleccionada siguiendo el método de líneas puras.

Las vainas son más grandes que la variedad anterior, alcanzando los 126 cm, un grosor de 8,40 cm y un peso medio de 280 g. Con menor número de semillas por vaina, pero más carnosas. Produce una media de 240 frutos por árbol, con un rendimiento del 98 toneladas por hectárea (Sitio web 11).

Si se comparan las variedades PKM-1 y PKM-2, la segunda produce un 9,18% más de frutos por árbol, lo que en términos de peso de las semillas supone un aumento del 71,58 % en la producción respecto a la variedad PKM-1 (Sitio web 11).

3.2.5.3. Variedad Coimbatore-1:

Esta variedad aumenta el crecimiento de las vainas y su calidad. Las vainas son más pequeñas que las anteriores, con unos 45-60 cm de longitud y un

peso de 60-70 g. Cada árbol produce de 400 a 600 vainas por año, pudiendo alcanzar las 1.250 vainas si se dan dos cosechas anuales. Se adapta muy bien a cualquier tipo de terreno (Pérez, C. 2012).

3.2.5.4. Variedad Coimbatore-2:

Vaina más pequeña que la Coimbatore-1, con una longitud de 25 a 35 cm, aunque más voluminosa y sabor más agradable. Cada árbol produce de 250 a 375 vainas (Pérez C., 2012).

3.2.5.5. Variedad Rohit:

Lograda mediante selección progresiva de semillas de moringa que realizó el agricultor Balasaheb Marale (en Post-Shaha, Tal-Sinnar, Dist - Nashik). Quién visitó varios cultivos de moringa localizados en varios estados de la India, llegando a recopilar 18 variedades y las plató en su cultivo en 1999. Durante 5 años estudió su época de floración, requerimientos hídricos, los frutos, su sabor, su tamaño, su peso y su rendimiento (Sitio web 7).

La primera cosecha empieza a los 4 o 6 meses después de haber sido plantada y ofrece un rendimiento comercial hasta los 10 años (dos cosechas por año).

Las vainas son verde oscuro, de 45 a 60 cm de longitud, con la pulpa suave y de muy buena calidad. Una sola planta, es capaz de producir de 40 a 135 vainas. Mientras que una planta de cinco años, produce de 585 a 650 vainas por años (Sitio web 7).

3.2.5.6. Otras variedades:

Otras variedades para la producción de vainas son: *Chemmurunga*, *G.K.V.K.-1*, *G.K.V.K.-2*, *G.K.V.K.-3*, *Jaffna*, *K.M.1*, *Chauakacheri morunga*, *Yalpanam* o *Shabanam*, *Palmurungai*, pero su uso es menos habitual.

3.2.6. Enfermedades y plagas de la *Moringa oleifera*.

Las plagas que afectan a la moringa en la India son la oruga peluda *Eupterote molifera*; la oruga de la hoja verde, *Noorda blitealis*; los gusanos cabezudos *Noorda moringae*, que causan graves defoliaciones; la oruga de corteza *Indarbela quadrinotata* y *Indarbela tetraonis* que ataca al tallo (Parrota, 1993).

Otras plagas que pueden afectarle según estudios de la India son: *Aphis craccivora*; orugas de *Tetragonia siva*, *Metanastia hyrtaca* y *Heliothis armígera*, e insectos que parasitan la planta como: *Ceroplastodes cajani*, *Diaspidiotus* sp., el cerambícido *Diaxenopsis apomecynoides* y la mosca de la fruta *Glitonia* sp. (Pérez C., 2012; Sitio web 2). La fuente de las fotos se puede ver en sitio web 2.



Fotografía 15: *Noorda blitealis*



Fotografía 16: *Eupterote molifera*



Fotografía 14: *Gitona distigma*

Las principales plagas en viveros son zompopos (*Atta* spp.) que se come el área foliar, langosta medidora (*Mocis latipes*), escamas (*Coccus* spp.) y, en el menor de los casos, ácaros (*Aceria sbeldoni*) (Reyes, 2004).

Las enfermedades a las que la *Moringa oleifera* es más afectada son las causadas por *Diplopia* spp y *Levellula taurina*, que pudren las raíces, causando la marchitez y posterior muerte de la planta.



Fotografía 18: Ataque de hongos en hojas de moringa (Ghana). Autor: Saint Sauveur & Broin 2010.



Fotografía 17: Ataque de oruga (Ghana). Autor: Saint Sauveur & Broin 2010

En las zonas próximas a cultivos agrícolas, le afectan otras enfermedades como *Cercospora* spp, *Septoria lycopersici* y *Alternaria solani* (Saint Sauveur & Broin, 2010).

3.2.7. Riesgo de asentamiento como mala hierba.

Un aspecto importante a tener en cuenta antes de introducir cualquier especie exótica, es el riesgo de invasión como “mala hierba”.

Debido a la falta de claridad en la definición de los términos utilizados para clasificar el “riesgo de invasión”, el simple hecho de ser una planta alóctona ha hecho que dicha planta sea considerada como un riesgo. Esto ha generado la inclusión de la planta en listas de especies invasoras como la del Compendio Global de Malas Hierbas y las que de esta lista derivan.

Resulta curioso que, siendo una especie ampliamente difundida por toda la zona del trópico, sólo algunos trabajos concretan que haya sido clasificada como “mala hierba”. En la mayoría de documentos consultados, como el Proyecto Estrategia Regional de Biodiversidad para los países del Trópico Andino, Estudio sobre el estado actual de las especies exóticas (UNAL), el Pacific Island Ecosystems at Risk (PIER), el Invasive Species threats in Caribbean Region (CAB International), el Invasive Alien Species in Southern

Africa (Global Invasive Species Program), Weed Risk Assessment, *Moringa oleifera* (Queensland government), la moringa no está calificada como especie de riesgo. Si bien, dada su alta variabilidad genética, es capaz de naturalizarse en diferentes ambientes, lo que no se considera como un problema

Esto no implica que no sea necesario proceder con cautela como con cualquier planta no nativa (Olson & Fahey, 2011).

3.3. CARACTERÍSTICAS ECOLÓGICAS DE LA ESPECIE.

Se puede considerar que la *Moringa oleifera* es una especie de gran plasticidad ecológica, ya que se encuentra localizada en diferentes condiciones de suelo, precipitación, temperatura y altitud.

En este apartado se procede a una recopilación de la literatura de los factores ecológicos abióticos en relación con la presencia de la especie según varios autores.

3.3.1. Altitud.

En su hábitat natural crece hasta los 1.400 m de altitud (Parrota, 1993). Otros autores, incrementan esta cifra situando a la moringa hasta los 1.800 metros sobre el nivel del mar en Costa Rica (Pérez et al., 2010) o a 2.000 m de altitud en Zimbabue (Navie & Csurhes, 2010). Khuroo et al. (2011), aseguran que en la región de Kashmir (Himalaya) crece hasta los 1.500 m.

Es habitual encontrar *Moringa oleifera* en altitudes inferiores a 600 m, aunque en algunas zonas tropicales crece hasta los 1.200 m (Navie & Csurhes, 2010).

3.3.2. Régimen pluviométrico.

La moringa es una especie muy resistente a la sequía. Es cultivada en regiones áridas y semiáridas de la India, Pakistán, Afganistán, Arabia Saudí y este de África, recibiendo una precipitación mínima anual de 300 mm. También se ha

naturalizado en lugares como Puerto Rico, donde la precipitación media anual oscila entre los 1.000 y 1.800 mm (Parrota, 1993).

En climas tropicales y subtropicales, resiste hasta seis meses de estación seca, si la precipitación es de al menos 500 mm/año, por lo que se puede plantar en zonas con precipitaciones desde 500 a 1.500 mm/año. Precipitaciones superiores a los 1.500 mm anuales, pueden causar la caída de las flores y disminuir la producción de semilla (nuevo). Un prolongado período de sequía, puede provocar estrés en la planta, ante lo que responderá perdiendo sus hojas (Mejía & Mora, 2008; Pérez, 2012).

Los autores Reyes et al., (2006), también confirman que la moringa es resistente a la sequía y tolera una precipitación anual de 500 a 1 500 mm (Pérez et al., 2010).

Otros autores como Saint Sauveur & Broin, (2010), amplían este intervalo, asegurando que sobrevive en un rango de precipitación desde 250 hasta los 2.250 mm anuales. Será necesario en cualquier caso aplicar riegos si la precipitación es inferior a 800 mm y el cultivo es para la producción de hojas.

En el departamento colombiano de Santander han observado que a partir de 1.700 mm de precipitación la floración es abundante pero la fructificación es escasa debido al efecto de la lluvia sobre las flores (Sitio web 25).

Los requisitos mínimos de precipitación se estiman en 250 mm anuales y un máximo de 3.000 mm anuales (Navie & Csurhes, 2010).

3.3.3. Régimen térmico.

La bibliografía existente en cuanto a requerimientos climáticos de la moringa no es muy extensa. La causa fundamental se debe a que los estudios realizados en las regiones donde se encuentra la planta, son muy limitados y los resultados muy variables. Lo que supone que la información disponible varíe de

unos autores a otros, o que la información sea incompleta (p.e.: se habla de temperatura 15 °C, sin especificar si son temperaturas medias anuales, media diaria, etc.).

En su hábitat natural, la temperatura media anual suele tener grandes oscilaciones. Desde los -1 a 3 °C en los meses más fríos, tolerando heladas cortas y poco intensas, hasta los 38-48 °C en los meses más cálidos. Crece mejor a temperaturas entre 25-35 (40) °C (Falasca & Bernabé, 2008; Parrota, 1993; Pérez, C., 2012).

En las regiones del sur de Asia donde se ha introducido, tolera temperaturas medias anuales desde los 12,6 °C hasta los 40 °C (Roloff et al., 2009). Valor muy similar al que afirman Falasca & Bernabé (2008), quienes aportan que temperaturas medias anuales superiores a 12 °C favorecen al crecimiento de la planta.

Para lograr una producción óptima de hojas y vainas, la *Moringa oleifera* requiere temperaturas diarias altas, en torno a 25-30 °C, mientras que el crecimiento se ralentiza con temperaturas por debajo de los 20 °C (Radovich, T. 2011).

A su vez, García Roa (2003) explica que en Centroamérica se encuentra en zonas con temperaturas de 6 a 38 °C. Es resistente al frío por corto tiempo, pero no menos de 2 a 3 °C. Con temperaturas menores de los 14 °C no florece ni germina, y sólo se puede reproducir por material vegetativo (por estacas) (Pérez et al., 2010).

Según Muhl et al., 2011, la temperatura es un factor que influye directamente en el crecimiento y productividad de la especie, al regular la velocidad de la respiración, directamente relacionada con la fotosíntesis. Estos autores realizaron diversos estudios, sometiendo a las plantas a tres regímenes de temperatura con fluctuaciones día/noche. Estos regímenes fueron 10/20 °C, 15/25 °C y 20/30 °C. Observaron que el crecimiento de la planta se ve favorecido de las altas temperaturas y que la planta tiene adaptaciones fisiológicas para las bajas temperaturas, lo que resulta fundamental para lograr la supervivencia de plantaciones de moringa en climas fríos (Muhl et al., 2011).

Pruebas realizadas en la Escuela de Ingeniería Técnica Forestal de la U.P.M. (Godino et al., 2013), han mostrado que la parte aérea verde de la planta resiste temperaturas mínimas de hasta 0 °C mientras que la parte lignificada llega a tolerar hasta -3 °C puntuales. Aún no se tienen datos de resistencia a las heladas de las raíces. Respecto a las temperaturas medias mensuales, sobrevive entre los 8 °C y los 13 °C, pero no crece.

La *Moringa oleifera* crece y se desarrolla en climas tropicales y subtropicales, en las zonas de rusticidad USDA 9b a 12. En España, Sánchez de Lorenzo, considera su cultivo como planta ornamental en la zona de rusticidad 11 (de 4 a 10 °C) (Pérez, 2012).

Radovich (2011), añade que la temperatura media anual mínima que tolera la planta son 15 °C, y que la temperatura media anual máxima son 30 °C. Los ejemplares jóvenes son sensibles a las heladas, mientras que los individuos adultos pueden sobrevivir bajas temperaturas de hasta 0 °C durante periodos cortos de tiempo viéndose afectado su crecimiento.

3.3.4. Caracteres edáficos.

En su hábitat natural crece a lo largo de los ríos más grandes, en aluviones. Estos suelos generalmente tienen buen drenaje y bajo contenido en materia orgánica (Parrota, 1993).

Prefiere los suelos bien drenados, arenosos o franco-arenosos, donde el nivel freático permanece bastante alto todo el año, dentro de la zona de mayor profundidad de sus raíces (Parrota, 1993; Saint & Broin, 2010).

Muchos autores coinciden en que la moringa tolera suelos francos o franco-arcillosos, pero no los arcillosos ni los vertisoles¹ (Foild et al., 1999). Sin embargo, un estudio realizado en Nicaragua (Alfaro, 2008) constató que la planta se desarrolló bien en suelos con porcentajes elevados de arcilla (44-46%).

¹ **Vertisol.** suelo en donde hay un alto contenido de arcilla expansiva que forma profundas grietas en las estaciones secas. Las expansiones y contracciones alternativas causan self-mulching.

Coloniza rápidamente las orillas de los arroyos y áreas de sabana, pero no admite encharcamientos prolongados (Mejía & Mora, 2008).

En Puerto Rico crece en suelos con drenaje excesivo y en suelos húmedos y bien drenados de fertilidad mediana con un pH de entre 5,5 y 7,5. En Kenia, se obtuvieron resultados negativos sobre alfisoles² semiáridos (Parrota, 1993).

Se caracteriza por no ser exigente en fertilidad, soportando ser cultivada en terrenos pobres o baldíos.

Se adapta bien a casi todo tipo de suelos, desde ácidos hasta alcalinos, con un rango de pH entre 4,5 y 9,0. Los mejores resultados se han obtenido en suelos de pH neutro o ligeramente ácido. Aunque tolera bien zonas con pH superior a 8,5 (Alfaro, 2008; Parrota, 1993; Saint Sauveur & Broin, 2010; Sitio web 3).

En términos generales, Alfaro (2008) propone como único factor limitante que el terreno donde se plante la moringa posea un buen drenaje.

3.4. DISTRIBUCIÓN DE LA *Moringa oleifera* EN EL MUNDO.

3.4.1. Área de distribución natural de la especie.

El área de distribución natural de la *Moringa oleifera* es muy restringida. Lo que no significa que sea una especie estenoica, pues posee una gran capacidad de adaptación ecológica, tal y como recoge el epígrafe de Requerimientos edafoclimáticos de la especie.

Es un especie originaria del sur del Himalaya, donde crece desde el noreste de Pakistán (33 °N 73 °E), atravesando Nepal y norte de la India, hasta el noroeste de Bangladesh (Figura 3) (Parrota, 1993).

² **Alfisol.** Suelo suelos minerales que presentan un horizonte de diagnóstico subsuperficial argílico o kándico, con un porcentaje de saturación de bases de medio a alto

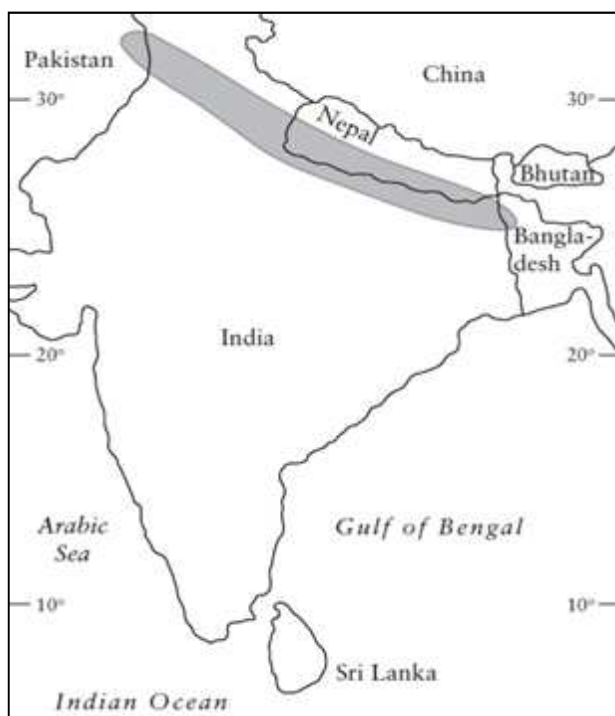


Figura 3: Área de distribución natural de la moringa. Fuente: Parrota.

Más concretamente, en el subcontinente Indio se sitúa en el estado de Jammu y Cachemira, extendiéndose por las fronteras que forman los estados de Himachal Pradesh, Punjab, Maryana, Uttaranchal hasta alcanzar las zonas de Agra y Oudh, en el estado de Uttar Pradesh, India (33 °N, 73 °E) (Foild et al., 1999; Olson & Fahey, 2011; Parrota, 1993; Pérez, 2012; Ramachandran et al., 1980).



Figura 4: Área de distribución natural de *Moringa oleifera* en la India. Fuente: Sitio web 10.

Existen pocos registros publicados acerca de la distribución natural de la planta, por lo que un estudio detallado de los bosques remanentes de la región de origen de la *Moringa oleifera* revelaría mucho acerca de la distribución natural y del germoplasma existente de esta zona, podría revelar mucho sobre la corología natural de la especie (Olson & Fahey, 2011).

3.4.2. Área de distribución artificial de la moringa.

En la actualidad, se encuentra diseminada en gran parte del planeta. En concreto, en las zonas de clima cálido delimitadas entre el trópico de Cáncer y el de Capricornio (Pérez, 2012).

Se cultiva y se ha naturalizado en otras partes de Pakistán, India y Nepal, así como en otros países del sur y este de Asia, incluyendo Afganistán, Bangladesh, Israel, Irán, China, Taiwán, Sri Lanka, Myanmar, Malasia, Filipinas, Tailandia, Camboya, Vietnam e Indonesia, la Península Arábiga (Fahey, 2005; Navie & Csurhes, 2010; Parrota, 1993).

En la actualidad, *Moringa oleifera* se ha establecido en diversas regiones del mundo, como muestra la siguiente figura (Figura 5).



Figura 5: Países donde se ha registrado *Moringa oleifera* natural o introducida.
Fuente: Sitio web 22.

En el África subsahariana, se encuentra en concreto en Zimbabwe, Madagascar, islas de Zanzíbar, Sudáfrica, Tanzania, Malawi, Benín, Burkina Faso, Camerún, Chad, Gambia, Ghana, Guinea, Kenya, Liberia, Malí, Mauritania, Nigeria, Níger, Sierra Leona, Sudán, Etiopía, Somalia, Zaire, Togo, Uganda y Senegal (Navie & Csurhes, 2010).

En el continente Americano se localiza en el sureste de los Estados Unidos (en Florida), en Méjico, en el Caribe (Cuba, Haití, República Dominicana, Bahamas, Jamaica, Puerto Rico e Islas Vírgenes), en América Central (Belice, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Panamá), en Sudamérica (Colombia, Venezuela, Brasil, Paraguay, Chile, Perú, Argentina, Uruguay) (Fahey, 2005; Navie & Csurhes, 2010; Parrota, 1993).

En Oceanía se ha detectado su presencia en Papúa Nueva Guinea y en Australia (Navie & Csurhes, 2010).

A continuación, en la Figura 6, se muestra de forma más detallada de la presencia de la *Moringa oleifera* en territorio estadounidense. Se observa que ha sido introducida en el estado de Florida, la Isla de Puerto Rico y en las Islas Vírgenes.

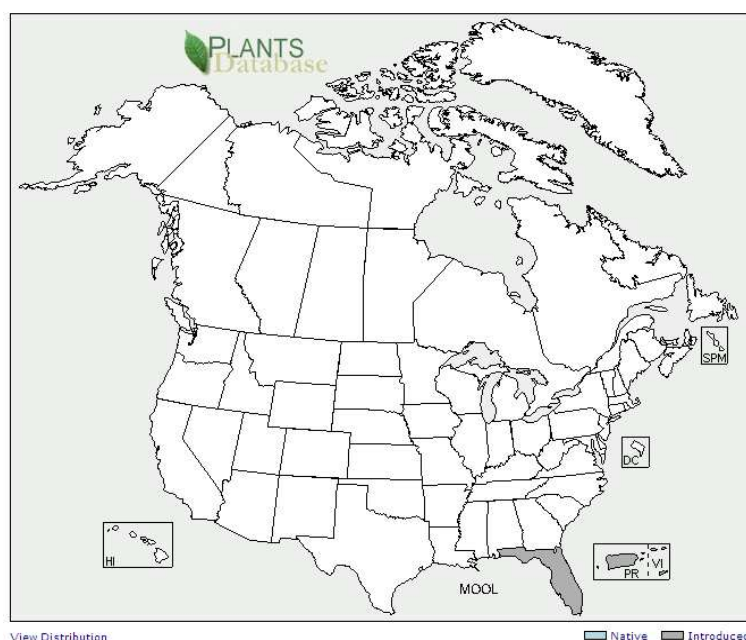


Figura 6: Distribución de *Moringa oleifera* en territorio estadounidense.
Fuente: Sitio web 18.

En la siguiente imagen (Figura 7) se muestra la localización, en Australia, de los lugares donde se han tomado muestras de *Moringa oleifera*.

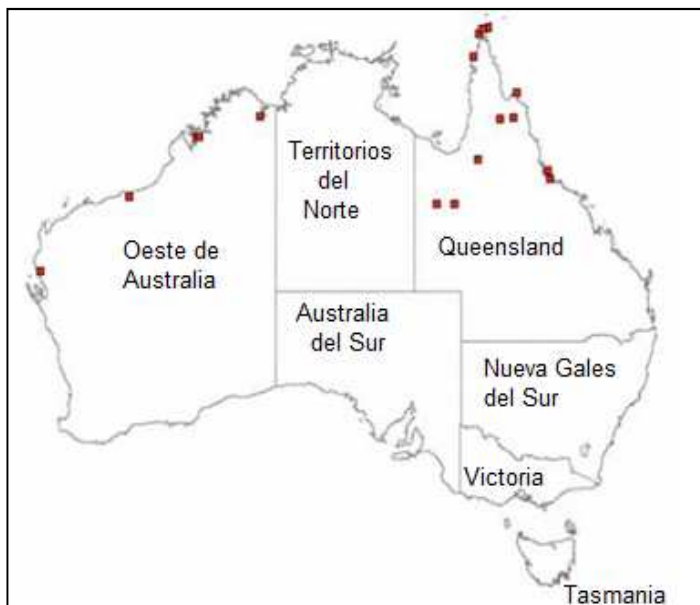


Figura 7: Distribución geográfica de *Moringa* en Australia. Fuente: Navie & Csurhes, 2010.

Se ha encontrado en la costa del Oeste de Australia, en los distritos del norte y noroeste. En Queensland es donde se han recogido más muestras, desde las zonas costeras del norte hasta el interior más seco (Navie & Csurhes, 2010).

3.5. USOS Y APROVECHAMIENTOS DE LA *Moringa oleifera*.

En este apartado se van a estudiar los diversos usos que proporciona la *Moringa oleifera*. De esta manera se trata de mostrar la cantidad de posibilidades que ofrece esta especie y por tanto, justificar el interés para su posible introducción en la Península Ibérica, Islas Baleares e Islas Canarias.

Son tantos los usos que se le atribuyen, que han hecho que se le conozca a la *Moringa oleifera* como “el árbol milagroso”.

A continuación se presenta el esquema que se va a seguir para explicar los múltiples usos de esta planta.

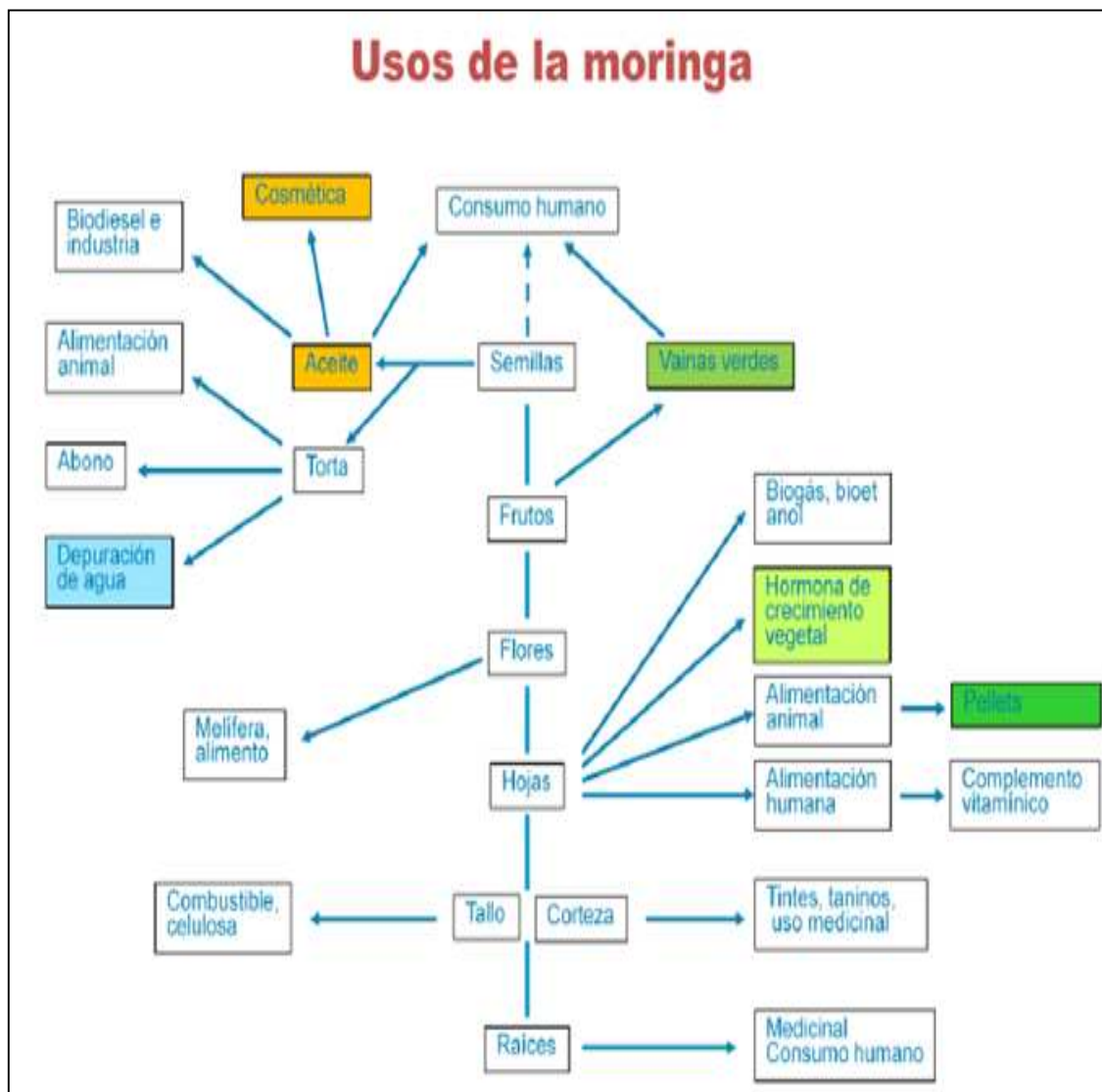


Figura 8: Usos de la moringa. Autor: Godino, 2011.

3.5.1. Hojas *Moringa oleifera*:

A las hojas de *Moringa oleifera* se le atribuyen las siguientes propiedades nutritivas: “un gramo de hojas frescas de moringa posee 7 veces más vitamina C que las naranjas, 4 veces más vitamina A que las zanahorias, 4 veces más calcio que la leche, 3 veces más potasio que los plátanos y 2 veces más proteína que el yogur”, (ver Figura 9). Además, cabe destacar que posee todos los aminoácidos esenciales, lo que no suele ser común en una misma especie (Sitio web 22).

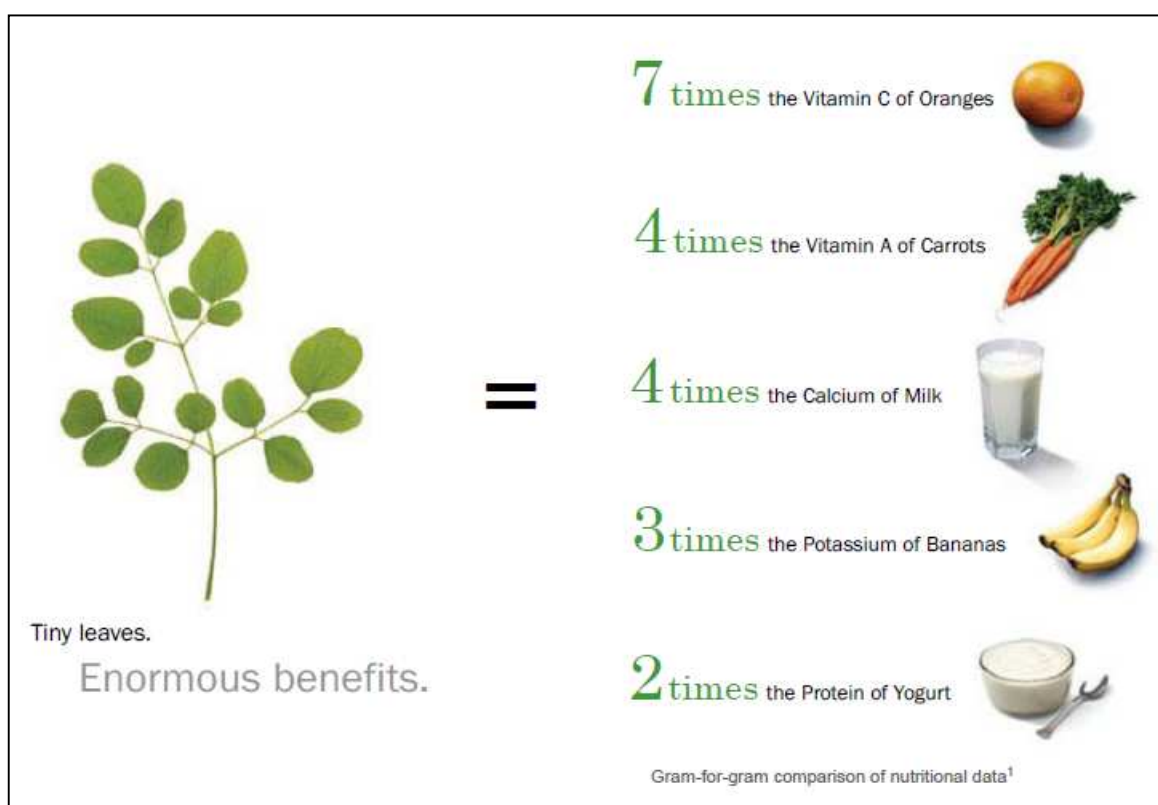


Figura 9: Propiedades nutritivas. Sitio web 22

Si se comparan las cifras de hoja fresca de moringa con polvo de hojas de moringa, las propiedades de estas últimas aumentan considerablemente: “10 veces más vitamina A que las zanahorias, la mitad de la vitamina C que las naranjas, 25 veces más hierro que las espinacas y 9 veces más proteína que el yogur”, tal y como se muestran en las siguientes tablas elaboradas por “Trees for life” (Sitio web 22).

Los valores son por cada 100 g de porción comestible:

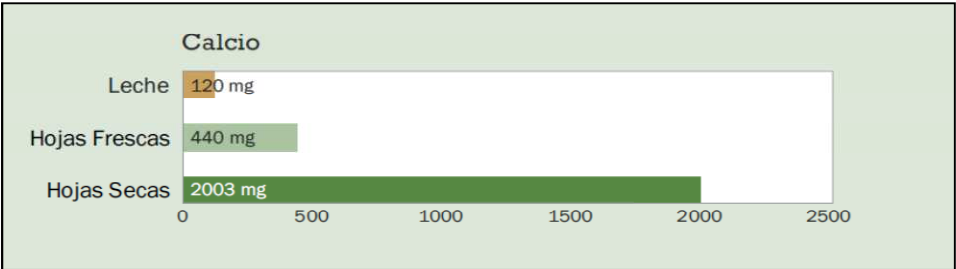


Figura 10: Contenido en Calcio

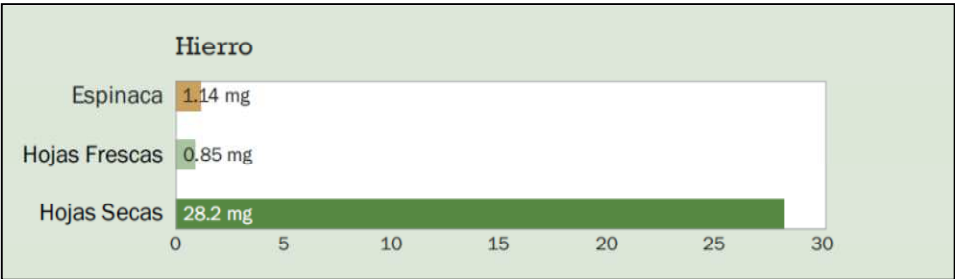


Figura 11: Contenido en Hierro

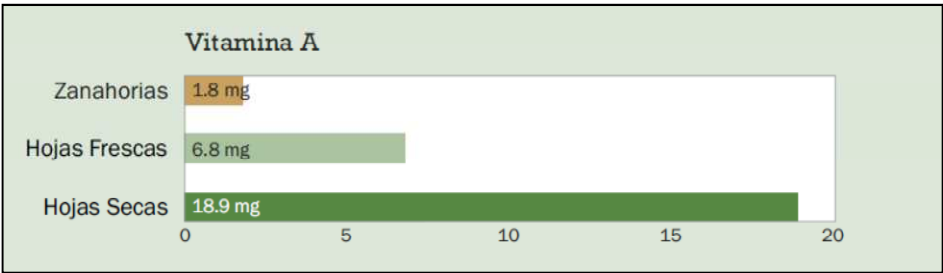


Figura 12: Contenido en Vitamina A

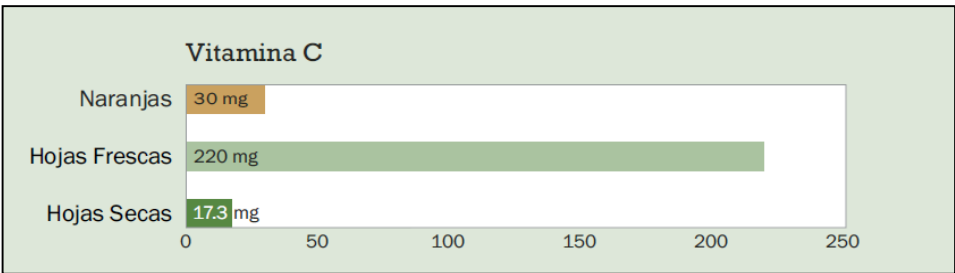


Figura 13: Contenido en Vitamina C

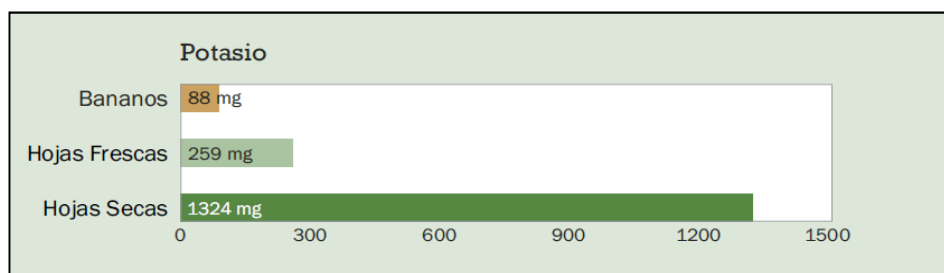


Figura 14: Contenido de Potasio

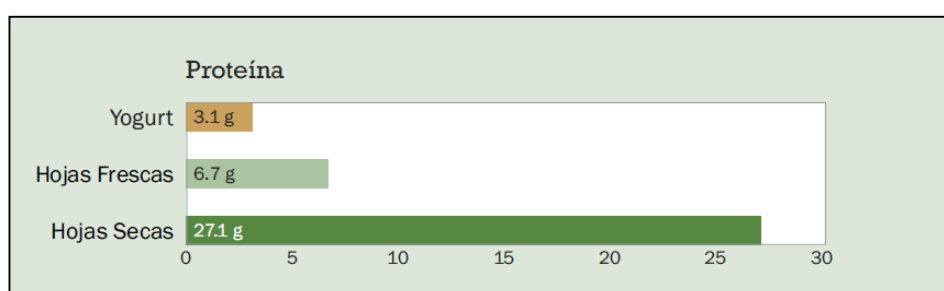


Figura 15: Contenido de Proteína

Excepto la vitamina C, el valor nutricional del polvo de hojas de moringa es mayor que el de las hojas frescas. Esto puede resultar interesante, ya que las hojas secas pueden almacenarse, por lo que su uso está garantizado durante todo el año.

El gran valor nutricional de la planta y su resistencia a la sequía, hace que esté siendo estudiada para combatir la desnutrición en los países en desarrollo. En las siguientes figuras, se muestra una comparación entre los países con problemas de desnutrición y los países donde se encuentra la moringa, ya sea de forma natural o cultivada.



Figura 16: Áreas donde crece la moringa (natural o cultivo). Fuente: Sitio web 22.

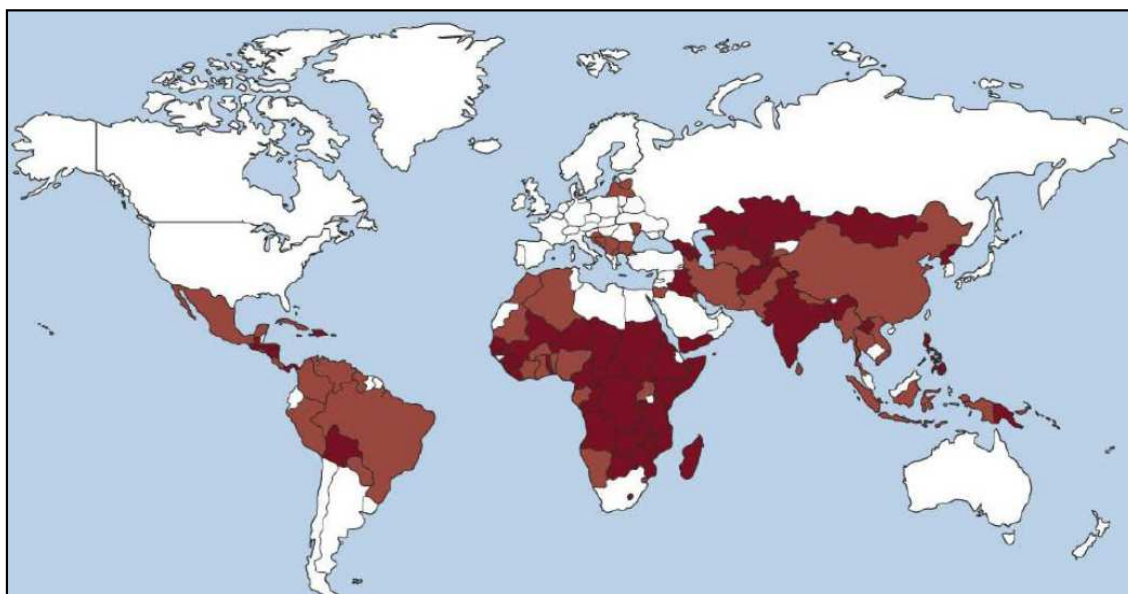


Figura 17: Países con problemas de desnutrición en la actualidad. Fuente: Sitio web 22.

3.5.1.1. Alimento humano.

Conocido el alto valor nutricional de la *Moringa oleifera*, se procede a profundizar en su utilización para el consumo humano, en sus dos variantes: hojas frescas, y hojas secas (en forma de polvo).

3.5.1.1.1. Hojas frescas

Tras la recolección, las hojas frescas de moringa deben ser almacenadas en frío a baja temperatura y alta humedad para evitar el marchitamiento. Es habitual que, para el consumo humano, sea embolsada en plástico y guardada en refrigeración a 10 °C.



Figura 18: Hojas frescas moringa. Fuente Sitio web 12.

A continuación, se muestra una tabla realizada por Pérez (2012), en su Trabajo Fin de Carrera en la E.U.I.T. Forestal, donde se muestra el análisis químico de las hojas frescas de moringa:

	Fuglie, 1999	USDA, 2003	INCAP, 2006
Humedad (%)	75,0	78,7	79,7
Carbohidratos (g)	13,4	8,3	11,1
Proteínas (g)	6,7	9,4	5,5
Lípidos (g)	1,7	1,4	2,1
Energía (Kcal)	92,0	64	49,5
Ca (mg/100)	440,0	185,0	22,3
K	259,0	9	11,8
Fe	7,0	4	24,3
Vit. C	220	51,7	109,3

Tabla 4: Análisis químico hojas frescas de moringa. Fuente: Pérez, 2012

Las diferencias entre los valores de calcio, potasio, hierro y vitamina C, pueden deberse a errores en los cálculos, diferencias entre unidades o arrastre de errores a través de la bibliografía (Pérez, 2012).

Su consumo como hojas frescas para alimento humano es de sabor agradable utilizándose en ensaladas con un sabor ligeramente picante, intermedio entre el rábano y el puerro, o para sazonar alimentos. También pueden ser consumidas simplemente hervidas o utilizadas en potajes, entre otras formas (Reyes, 2004; Sitio web 3).



Fotografía 19: Polvo de moringa. Fuente: Sitio web 3.

3.5.1.1.2. Hojas secas (Polvo de moringa)

A continuación, se muestra una recopilación de información sobre el contenido nutricional de las hojas secas de moringa, realizado por Pérez (2012), donde se comparan los resultados obtenidos por Flugie (1999), Foild (2001), INCAP (2008) y Sánchez-Machado et al. 2010).

Nutriente	Hojas secas		
	Fuglie (1999)	INCAP (2008)	Sánchez- Machado et al. (2010)
Humedad (%)	7,5	4,8	-
Valor energético (Kcal)	205	-	-
Proteínas (g)	27,1	33,5	22,42
Lípidos (g)	2,3	9,75	4,96
Carbohidratos (g)	38,2	-	27,05
Fibra (g)	19,2	7,48	30,97

Tabla 5: Contenido en macronutrientes del polvo de *Moringa oleifera* en 100 g de porción comestible. Fuente: Pérez, 2012.

Vitaminas (mg)	Hojas secas			
	Fuglie, (1999)	Foild, (2001)		
		Nicaragua	India	Níger
Vit. A (β-caroteno)	18,9	40,1	-	-
Vit. B-colina	-	-	-	-
Vit. B1-tiamina	2,64	-	-	-
Vit. B2-riboflavina	20,5	-	-	-
Vit. B3-niacina	8,2	-	-	-
Vit. C-ácido ascórbico	17,3	91,8	83,6	67,8
Vit. E-acetato tocoferol	113	-	-	-

Tabla 6: Contenido en vitaminas del polvo de *Moringa oleifera* en 100 g de porción comestible.
Fuente: Pérez, 2012.

Minerales (mg)	Hojas secas				
	Fuglie, (1999)	Moringanews (2006)	Foild, (2001)		
			Nicaragua	India	Níger
Calcio (Ca)	2.000	1600-2000	1.750	2.640	1.390,00
Magnesio (Mg)	368	2350-500	11,00	11,00	11
Fósforo (P)	204	200-600	116	136	122
Potasio (K)	1.324	800-1800	1.910	2.170	1.840
Cobre (Cu)	0,57	0,7-1,1	1,12	0,71	1,06
Hierro (Fe)	28,20	18-28	58,20	17,50	34,70
Azufre (S)	870	-	-	-	-
Sodio (Na)	-	-	116	273	261
Manganeso (Mn)	-	41.887	4,71	5,18	11,40
Zinc (Zn)	-	1,5-3	1,35	1,37	2,42

Tabla 7: Contenido de minerales del polvo de *Moringa oleifera* en 100 g de porción comestible.
Fuente: Pérez, 2012.

Aminoácidos	Materia seca del extracto de hojas	Materia seca de hojas no extraídas
Lisina	24,89	13,63
Leucina	37,65	20,67
Isoleucina	19,72	9,80
Metionina	7,13	4,24
Cistina	3,54	3,39
Fenilalanina	24,27	14,71
Tirosina	16,74	7,71
Valina	23,49	12,43
Histidina	11,09	6,80
Treonina	19,14	11,81
Serina	18,25	10,34
Ác. Glutámico	47,03	25,65
Ác. Aspártico	39,71	22,16
Prolina	21,13	13,63
Glicina	21,66	13,76
Alanina	24,95	18,37
Arginina	25,90	14,47
Triptófano	15,28	4,79

Tabla 8: Contenido en aminoácidos del polvo de *Moringa oleifera* en g/kg. Fuente: Pérez, 2012.

La moringa contiene todos los aminoácidos esenciales, lo que es muy raro que ocurra en una sola especie. La importancia de los aminoácidos esenciales es que, al no poder ser sintetizados en el organismo, es necesario ingerir alimentos ricos en proteínas que los contengan, para que el organismo obtenga los aminoácidos esenciales y pueda formar nuevas proteínas (Sitio web 19). En la Tabla 8, se señalan en rojo los aminoácidos esenciales.

Carotenoides	Hojas (mg/Kg MS)	Tallos (mg/Kg MS)
α -caroteno	6,5	n.d
β -caroteno	401	n.d
Echinenon	n.d	n.d
Fucoxantina	n.d	n.d
Luteína	702	21,8
Myxoxantofila	n.d	n.d
Neoxantina	219	5,9
Violaxantina	76,5	1,3
Zeaxantina	19,4	n.d
Xantofila	83,1	1,6
Carotenoides	1508	34,4
Clorofila	6890	271,1

Tabla 9: Carotenoides en diferentes fracciones morfológicas de *Moringa oleifera*. Fuente: Pérez, 2012.

Debido a su alto contenido nutricional, la moringa se está revelando como un recurso de primer orden y bajo coste de producción, para la prevención de desnutrición y otras patologías derivadas, como la ceguera infantil (Sitio web 3).

Además, tiene un futuro prometedor en la industria dietética, y como alimento proteico para grandes deportistas (Alfaro, 2008).

3.5.1.2. Alimento animal.

En muchos países, especialmente de Latinoamérica, se ha desarrollado el cultivo de moringa, para alimento animal. En un principio ha sido empleado como alimento verde o ensilado, y actualmente como pellets, como suplemento de su dieta.

En su uso para la alimentación animal, la moringa es uno de los forrajes más completos al ser rica en proteínas, vitaminas y minerales, junto con una excelente palatabilidad. Es consumida por todo tipo de animales: aves, camellos, cerdos, rumiantes o incluso peces herbívoros (Alfaro, 2008; Foild et al., 1999; Reyes, 2004).

En ensayos realizados en diversas partes del mundo con ganado vacuno, porcino, ovino, caprino u avícola se han verificado importantes incrementos en el rendimiento, tanto de ganancia de peso como de producción de leche. Los resultados más espectaculares se dan en animales con una dieta deficiente en proteínas, frente a otros con dieta equilibrada (Sitio web 3).

En el ganado vacuno, se puede utilizar la moringa como suplemento proteínico o como sustituto completo de su alimentación. A pesar de que probablemente, sea necesario un periodo de adaptación para el ganado, teniendo que mezclarlo con otros alimentos (Foild et al., 1999). Un estudio realizado en la Universidad Nacional Agraria (Managua, Nicaragua) concluye que el uso de *Moringa oleifera* incrementa la producción de leche sin tener ningún efecto sobre el contenido de grasa, proteína, sólidos totales, aspecto, olor, color y sabor de la leche, presentando características similares a la de leche cruda normal (Reyes, 2004). A continuación se muestra una tabla, que recoge los datos de experimentos realizados en Centroamérica, alimentando a cada res con 15 kg de moringa al día (lo que supone un porcentaje del 40-50% a base de hojas de moringa, sobre la ración total de alimentación).

Tratamiento	Producción de leche (l/día)	Aumento de peso (g/día)	Peso al nacer (kg)
Con moringa	10	1.200	23-26
Sin moringa	7	900	20-22

Tabla 10: Datos de experimentos en Centroamérica. Fuente: Sitio web 3.

El consumo de moringa por las aves, se recomienda que sea a través de un concentrado con hojas de moringa, ya que estos animales no toleran bien el consumo de hojas frescas o en polvo. El concentrado (húmedo o liofilizado) se mezcla y muele con los otros componentes del pienso (Reyes, 2004; Sitio web 3).

La moringa es uno de los forrajes aptos para ganado porcino, por la alta cantidad de proteína que estos animales precisan (Reyes, 2004). En Latinoamérica para la cría de ganado porcino, se estima un consumo de moringa del 70% de su dieta, siendo el 10% restante a base de *Leucaena leucocephala*, y el otro 20% de otras hojas, como el banano (Flores & Duarte, 2004); si bien, la Organización para la Erradicación del Hambre en Honduras recomienda un 30% de hoja de moringa y el resto de concentrado comercial (sitio we 26).



Fotografía 20: Cerdos alimentándose de hojas de moringa frescas.
Fuente: Pérez (2012).

En cualquier caso, en cerdos se debe evitar un consumo excesivo de moringa o de otros alimentos de alto contenido proteico, ya que se podría producir un desmesurado desarrollo muscular a costa de la producción de grasa (Sitio web 3).

En 2008, la Universidad Nacional Agraria (Managua, Nicaragua), realizó un estudio para evaluar el comportamiento productivo del ganado ovino, al complementar su alimentación con *Moringa oleifera*. Concluyeron que es una vía eficiente para mejorar las dietas de baja y mediana calidad, además de ser un recurso disponible y rentable para pequeños productores (Mejía & Mora, 2008).

En el caso de las cabras, al completar su alimentación con un 20% y 50% de hojas de moringa, tuvieron una ganancia media diaria de 86 y 78 g/día y las no complementadas solamente ganaron 55 g/día (Reyes, 2004).

3.5.1.3. Cultivos bioenergéticos

3.5.1.3.1. Pellets de moringa para combustible.

A día de hoy es escasa la información respecto al uso de la moringa como pellets para combustible.

Se estima el poder calorífico de la madera en 3.000 y 4.600 kcal/kg. El departamento de termodinámica de la Escuela Superior Técnica de Ingeniería de Montes, en la UPM, efectuó un ensayo para determinar el poder calorífico de la planta procesada en pellets en condiciones de laboratorio, resultando un valor de 4.187 kcal/kg (Godino, 2013).



Fotografía 21: Pélets de *Moringa oleifera*. Autor: Godino, 2013.

3.5.1.3.2. Bioetanol.

El bioetanol se produce a partir de la fermentación de los azúcares contenidos en la materia orgánica de las plantas. En este proceso se obtiene el alcohol hidratado (con un contenido en agua entorno al 5%, que tras ser deshidratado

puede ser utilizado como combustible. Si se mezcla con la gasolina, se genera un biocombustible de alto poder energético, de características como la gasolina, pero con una importante reducción de emisiones contaminantes en los motores tradicionales de combustión. Actualmente se usa el etanol en mezclas con gasolina, en concentraciones del 5% o 10%, E5 y E10 respectivamente, que no requieren modificaciones en los motores.

En la moringa, los azúcares están contenidos en forma de celulosa y hemicelulosa. Los porcentajes medios de celulosa son de un 42% en tallos de árboles medidos a una altura de 1 y 2 metros, y aproximadamente un 13% de hemicelulosa en las hojas de los árboles en las mismas condiciones (Pérez, 2012).

Hasta el momento, no se ha experimentado el procedimiento de obtención de etanol a partir de *Moringa oleifera*, aunque si se han realizado estudios teóricos del potencial de producción que podría obtenerse.

Según estudios de la Universidad de Panamá, 1.000.000 de plantas/ha producen 600 toneladas de biomasa en 8 cortes, pudiéndose realizar el primer corte a los 60 días. A partir de esta biomasa podrían obtenerse 20.000 l/ha de bioetanol. Es decir, una tonelada de biomasa de moringa produciría 33,33 litros de bioetanol (Pérez, 2012).

Foild en un artículo del Nuevo Diario de Managua (Nicaragua) argumentó que, en una hectárea de caña de azúcar se pueden producir 630 l/año de alcohol a partir de la melaza obtenida en la producción de azúcar. Mientras, idéntica superficie sembrada con *Moringa oleifera* puede producir 8.400 l/año.

3.5.1.3.3. Biogás.

Según la directiva 2003/30/CE, se entiende por biogás el combustible gaseoso producido a partir de la biomasa y/o a partir de la fracción biodegradable de los residuos y que puede ser purificado hasta alcanzar una calidad similar a la del gas natural, para uso como biocarburante o gas de madera (gas de síntesis).

El biogás puede ser utilizado como cualquier otro combustible para cocción de alimentos (en sustitución de la leña, el queroseno, el gas licuado, etc.) o para el alumbrado (en lámparas adaptadas). También puede ser empleado como combustible en motores de combustión interna adaptados ya que, mezclas de biogás con aire, en una proporción de 1:20, forman un gas detonante altamente explosivo. Hay que destacar que sólo se podrá utilizar como combustible cuando el metano se encuentra en concentraciones mayores o iguales a 50%.

Se han realizado varios estudios sobre el uso de la moringa para la producción de biogás. Según Foild et al. (2001), en Nicaragua, se utilizó la biomasa de plantaciones de moringa de 30 días de edad y se trituró junto con agua; a continuación, se separó la fibra de la fracción líquida por filtración, esta fibra se añadió a un reactor de biogás. La producción de biogás fue de 580 litros por kg de sólidos volátiles con un contenido de metano del 81%.

Leonardo Mayorga explica la tecnología disponible en Nicaragua para la producción de biogás, a partir del follaje de la moringa. Consistiría en purificar el biogás para obtener el metano como sustituto de la gasolina y diesel en vehículos. Existe un potencial de producción de 25.000 m³ de metano/ha/año. Con cultivos de alta densidad, es decir, 1.000.000 de plantas por hectárea, sabemos que pueden producir 600 t/ha/año de biomasa fresca, lo que se traduce en 100 t/ha/año de biomasa seca, obteniéndose 60 toneladas de materia prima de biogás. A partir de esta materia prima se pueden obtener 36.000 m³ de gas con un porcentaje del 70% de metano, lo que significa 25.000 m³ de gas metano (CH₄) (Sitio web 13).

3.5.1.4. Hormona del crecimiento vegetal.

La *Moringa oleifera* es una fuente de hormonas promotoras de crecimiento vegetal, obtenidas a partir de extracto de hojas y tallos jóvenes. El principio activo es la Zeatina, una hormona vegetal del grupo de las Citoquininas. Además cabe destacar que las hojas de moringa, incorporadas directamente al

suelo previenen del ataque de ciertas plagas (*Pythium debaryanum*) (Sitio web 3).

La hormona extraída es efectiva en el crecimiento de casi todo tipo de cultivos, aumentando su rendimiento en un 25-30% (Pérez et al., 2010).

Para la elaboración del “spray” fertilizante se han de triturar 10 kg de material fresco de moringa de edad inferior a 40 días, por litro de agua. Se filtra y posteriormente se diluye en extracto en agua en relación 1:32. Esta disolución se puede aplicar directamente sobre las plantas como fertilizante (Price, 2007).

3.5.2. Flores.

La *Moringa oleifera* está considerada planta melífera, ya que las flores constituyen una excelente fuente de néctar y polen para la producción de miel (Pérez et al., 2010; Sitio web 3).

3.5.3. Fruto.

Las vainas frescas son consideradas buena fuente de aminoácidos esenciales. Los autores Ghasi & Nwobodo (2000), destacaron el efecto positivo que las vainas tienen en la reducción del colesterol en sangre.

En la India y otros lugares, son consumidas tiernas, frescas o cocidas. Y enlatadas, son exportadas de países como Sri Lanka o Kenia, hacia Europa.



Fotografía 22: Vainas frescas.

En la siguiente tabla se recoge el valor nutricional de las vainas frescas:

Análisis determinado	INCAP, 2006	USDA
Humedad (%)	83,2	88,2
Proteína (%)	5,6	2,1
Grasas (%)	0,9	0,2
Cenizas (%)	0,9	-
Carbohidratos (%)	9,5	8,53
Kcal/100g	40	37
Calcio (mg/100 g)	1,0	30
Potasio (mg/100 g)	9,4	461
Hierro (mg/100 g)	1,0	0,36
Carotenos (µg/100 g como β-caroteno)	2.619,90	-
Vit. C (mg/100 g)	72,2	141

Tabla 11: Contenido nutricional vainas frescas moringa.
Fuente: Pérez, 2012.

3.5.4. Semillas.

Las semillas de la *Moringa oleifera* probablemente sean la parte de la planta a la que se le atribuyen mayor número de usos y propiedades.

3.5.4.1. Aceite.

3.5.4.1.1. Consumo humano.

Las semillas de moringa contienen entre un 33 y 41% de aceite. Además, se caracteriza por tener una importante proporción de ácido oleico, entre un 68-85%, (muy similar al aceite de oliva, que contiene entre un 65-86%). Cabe destacar el contenido de ácido behénico, que es el único parcialmente absorbido por el intestino humano (< 20%), este efecto de baja absorción, hace que la densidad calórica por gramo de aceite sea menor que otros (Foild et al., 1999; Paz & Del Bosque, 2011; Pérez C. 2012, Sitio web 16, Sitio web 3).

Si se compara el aceite de moringa con otros aceites vegetales, su contenido en aceite es similar la semilla de girasol (22-37,5%), y mayor al de la soja (18-22,63%) (Rashid et al., 2008).

En los últimos años, se ha incrementado la demanda por parte de los consumidores de aceites vegetales de alta calidad, ricos en ácido oleico, por sus efectos sobre la salud cardiovascular. Por lo que es importante su estudio, como aceite de alta calidad para el consumo humano.

3.5.4.1.2. Cosmética.

En la actualidad está en auge la utilización del aceite de moringa en la industria cosmética. Varias empresas están desarrollando estudios en laboratorio como “Yves Rocher” y desarrollando productos, como es el caso de “The Body Shop” que ha creado una línea de cosméticos elaborados a partir de aceite de moringa (manteca corporal, gel de ducha, jabón de manos, aceite de belleza, agua de colonia, loción corporal y exfoliante corporal), destacando su alto contenido en ácido oleico y sus propiedades nutritivas en la piel.



Fotografía 23: Gel de ducha de moringa
Fuente: The Body Shop.

O como la marca francesa “Galénic” quien además tiene una patente registrada de un principio activo extraído de la semilla de moringa (Pérez, 2012; Sitio web 20).

Además, el aceite extraído de semillas de moringa es un potencial lubricante vegetal en la formulación de fluidos industriales para aplicaciones a altas temperaturas. También es utilizado como lubricante en mecanismos de

precisión como relojes, o como combustible para lámparas desde hace varios siglos en las regiones de procedencia (Navie & Csurhes, 2010).

3.5.4.1.3. Cultivo bioenergético - Biodiésel.

El biodiésel es un combustible compuesto de ésteres mono-alquílicos de ácidos grasos de cadenas largas, derivados de aceites vegetales, vírgenes o reutilizados, o grasas animales (Atlas de la agroenergía y los biocombustibles en las Américas, 2010).

La principal materia prima para la producción de biodiesel son los aceites obtenidos de algunas especies vegetales como girasol, ricino, soja, cacahuete, coco o palma entre otras. Las propiedades físicas y químicas son muy similares a las del gasoil convencional obtenido del petróleo (Pérez, 2012).

En España, el biodiesel debe cumplir la especificación de calidad establecida en RD 61/2006, basada en la norma europea EN-14214 para biodiesel con excepción del índice de yodo.

Por regla general las características finales del biodiesel dependen de la calidad y características de los aceites vegetales empleados.

Ventajas ambientales del biodiesel frente al gasoil, según Naciones Unidas (2004) (Sitio web 24):

- Reducción total de las emisiones de azufre.
- Reducción del 50% de las emisiones de CO₂. Además, este CO₂ se reincorpora al ciclo del carbono en la atmósfera.
- Reducción del 65% de partículas sólidas.
- En caso de fuga, es biodegradable (en 21 días se degrada el 98,3%).
- No es tóxico (DL 50< sal de mesa).

Desventaja ambiental:

- Incrementa levemente la emisión de óxido nitroso (N₂O).

Efectos positivos en los motores diesel:

- Combustión más regular.
- Mayor limpieza general
- Lubricación de todo el sistema (incluso a bajas concentraciones).
- Se puede emplear puro o mezclado con el gasoil tradicional, sin necesidad de modificar ninguna parte del motor. Aunque se deben verificar los filtros de combustible los primeros días, pues el biodiesel tiene un efecto purgante que disuelve y arrastra la suciedad.

Otras ventajas:

- El índice de cetano del biodiesel (equivalente al índice octano de las gasolinas, y que mide la capacidad energética del combustible) es mayor que el del gasoil (especialmente al gasoil refinado en Norteamérica, de menor calidad que el refinado en Europa).

Las plantas más utilizadas para la producción de biocombustibles son la palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.), la jatrofa (*Jatropha curcas* L.) y el ricino (*Ricinus communis* L.).

Como alternativa a la jatrofa para producir biodiesel, el Dr. K. Shaine Tyson presentó durante la V Conferencia y Exposición Nacional de Biodiésel a la *Moringa oleifera* (Tyson, 2008).

Otros autores han abierto líneas de investigación y la han propuesto para iniciar estudios de producción de biocombustibles, como el Dr. Garavito perteneciente a la Corporación Ecológica Agroganadera S.A. de Colombia, el Dr. Wahidul K. Biswas del Centre of Excellence in Cleaner Production of Curtin University of Technology, West Australia (Australia), Silvia Falasca y María A. Bernabé, ambas pertenecientes al Centro de Investigaciones y Estudios Ambientales (CINEA) de Buenos Aires (Argentina) entre otros, (Pérez C., 2012).

El contenido en aceite de la moringa oscila de 30-50%, con un contenido en ácido oleico de hasta el 70%. El biodiesel obtenido de la moringa presenta un número alto de cetano (aproximadamente 67), siendo el índice más alto de

todos los biocarburantes de origen vegetal. Se tiene en cuenta la normativa europea EN-142114, que sitúa el número de cetano mínimo en 51, el alto valor de la moringa indica un buen encendido (Rashid et al., 2008; Sitio web 14).

El aceite posee la mayoría de las características que exige la norma europea para la calidad del biodiesel, como el número de cetano, viscosidad y estabilidad de oxidación (Martínez et al., 2011).

El cultivo de moringa para biodiesel tiene un rendimiento aproximado de 2.500 kg de semilla/ha. Lo que supone unos 1.500 litros de aceite/ha con un factor de conversión a biodiesel del 0,96, que permite una producción aproximada de 1.440 litros de biodiesel/ha. Tiene un rendimiento similar a la jatrofa, al que se le atribuyen unos rendimientos medios de 3.000 kg/ha con una producción de biodiesel de 1.400 a 1.900 litros/ha (Pérez, C. 2012). Los subproductos de la moringa son directamente aprovechables mientras que los de la jatropha, no.

En la actualidad, no se está llevando a cabo ninguna investigación de la *Moringa oleifera* como productora de biofuel. Aunque un estudio realizado en Vietnam, recomiendan evaluar su potencial para la producción de combustibles en la región. Ya que concluyeron que con un único cultivo de moringa, podrían satisfacer toda la demanda de materia prima en la región montañosa de Vietnam. Sin embargo, también afirman que para cubrir la demanda de biofuel que se espera para el año 2050, requerirá demasiado terreno (Do Anh, 2009).

La empresa canario africana Xerics C.A.B. de biocombustibles, empezó a desarrollar un cultivo multipropósito con la moringa. Actualmente el proyecto está parado por falta de financiación. Pero en los primeros resultados, concluyen que el cultivo sería viable y hasta muy productivo, siempre y cuando se aprovecharan los variados usos de la planta. Consideran la productividad en aceite como media-baja (menos de 1.000 litros por hectárea) (Sitio web 24).

3.5.4.2. Torta.

Tras el proceso de prensado de las semillas para la extracción del aceite, se obtiene una torta que puede tener varias utilidades: fertilizante para el suelo por su alto contenido en nitrógeno, alimento para animales por su alto contenido en proteína bruta (casi el 60%), o para el tratamiento de la turbidez del agua en los países en vías de desarrollo gracias al polielectrolito catiónico presente en la torta (Pérez et al., 2010).

3.5.4.2.1. Abono:

La torta que queda tras el procesado de las semillas para la extracción de aceite, es valorada en sus regiones de origen como fertilizante natural por su alto contenido en nitrógeno. Además, no supone ningún coste ya que es un derivado de la extracción de aceite de las semillas (Falasca & Bernabé, 2008; Folkard & Sutherland, 1996).

3.5.4.2.2. Depuración de aguas:

Las semillas de la moringa son un floculante natural. Poseen un alto contenido de proteínas catiónicas, las cuales son solubles en agua, con carga neta positiva y bajo peso. Actúan como los polímeros sintéticos utilizados industrialmente en el tratamiento de aguas. Este floculante actúa neutralizando y desestabilizando las cargas negativas de las partículas coloidales en suspensión, provocando que se agreguen entre sí y precipiten al fondo (Folkard & Sutherland, 1996; Tenorio et al., 2008).

El proceso de preparación del floculante natural es muy sencillo. Las vainas se dejan secar en el árbol de forma natural; se recolectan (una vez secas) y se desvainan (fácilmente). Finalmente, se trituran y tamizan, utilizando las técnicas tradicionales para producir harina de maíz. Al mezclar este polvo con el agua, produce proteínas solubles con carga neta positiva. La dosis de soluciones (normalmente 1-3%) actúa como polielectrolito canónico durante el tratamiento (Folkard & Sutherland, 1996; Ghebremichael, 2004).

Las semillas, una vez machacadas, se han usado como un método efectivo y de bajo costo para tratar el agua y reducir su turbidez y contaminación bacteriana en comunidades rurales del Sudán, Malawi e Indonesia (Parrota, 1993).

3.5.5. Tallo.

3.5.5.1. Usos de la madera.

La madera de moringa no posee cualidades físicas mecánicas para ser considerada una especie maderable. Es una madera frágil y muy blanda, que se desgaja con facilidad, mostrándose fibrosa y seca. Se utiliza para la elaboración de carbón vegetal y papel (Falasca & Bernabé, 2008; Pérez C., 2012).



Fotografía 24: Madera de *Moringa oleifera*. Fuerte: Sitio web 21.

En la India se usa la madera en forma limitada para lanzaderas y otros instrumentos para la industria textil. La pulpa se emplea para hacer papel prensa, papel celofán y textiles, como cuerdas, esteras y felpudos (Falasca & Bernabé, 2008; Parrota, 1993).

3.5.5.1.1. Celulosa.

Para conocer la aptitud de la moringa en la industria papelera, Cobas & Molina (2004), llevaron a cabo un análisis químico que mostró los siguientes resultados valores de cenizas en un 6,1 %, de lignina en un 17,7% y de celulosa en un 53,4%. No se asemeja a ninguna especie productora de papel, por sus fibras espesas en las paredes (2,63 μm), que reducen el aplastamiento de las fibras y la superficie de contacto entre ellas; fibras anchas y cortas, no favoreciendo la unión interfibra, indispensable en la fabricación de papel; e índice de rasgado y reventamiento inferior a especies de género *Pinus* y *Eucalyptus*, aunque con un índice de tracción similar.

3.5.5.1.2. Leña:

Como leña posee gran cantidad de celulosa (entre 40-42%) que arde con gran facilidad. El humo es blanquecino. Su densidad relativa suele oscilar en torno a 0,6 g/cm³ (Alfaro, 2008).

Como leña, la *Moringa oleifera* posee una gran cantidad de celulosa, aproximadamente el 53,4% (Cobas & Molina, 2004) que arde con facilidad y cuyo poder de combustión es bajo. Si bien la mayoría de los autores citan una densidad media de 0,6 t/m³, en el trabajo realizado dentro del Forestry/Fuelwood Research and Development Project, French (1994) aporta los datos de 0'32 como densidad y 4.600 kcal/kg como potencial calorífico. No hay datos de producción de leñas (Godino et al., 2013).

3.5.5.2. La corteza.

La corteza corchosa produce una fibra tosca, que se utiliza para hacer papel y cordaje (Parrota, 1993).

3.5.6. Uso medicinal.

Todas las partes de la planta tienen atribuidas propiedades medicinales. La literatura ayurverica cita que sirve para más de trescientas enfermedades. La

moringa tiene aplicaciones medicinales muy variadas, especialmente en sus países de origen. La corteza fresca se usa como antídoto contra la picadura de algunos insectos y contra el veneno de serpientes; los frutos se consideran afrodisíacos y la decocción de la raíz se utiliza contra la viruela o la retención de líquidos; la infusión de la semilla es laxante y purgante; a las flores, hojas y raíces se le atribuyen propiedades abortivas, bactericidas, purgantes, diuréticas, estrogénicas, expectorantes, purgantes, rubefacientes, estimulantes, diuréticas y vermífugas. La corteza del tallo y la raíz, también son estimulantes, diuréticas y antiescorbúticas (Pérez, C. 2012).

Todas estas propiedades han sido muy utilizadas en la medicina tradicional natural, aunque pocas han sido investigadas científicamente con pruebas clínicas aleatorizadas en humanos y controladas con placebo (Olson, M.E. y Fahey J.W., 2011). Este es el método que exige la comunidad médica occidental para aceptar los beneficios de la moringa. Aunque si bien es cierto, muchos estudios se han basado en investigaciones in vitro o estudios con animales, comprobándose que el uso de moringa o sus extractos aumenta los niveles de determinados biomarcadores, antioxidantes y enzimas de detoxificación (Pérez C. 2012).

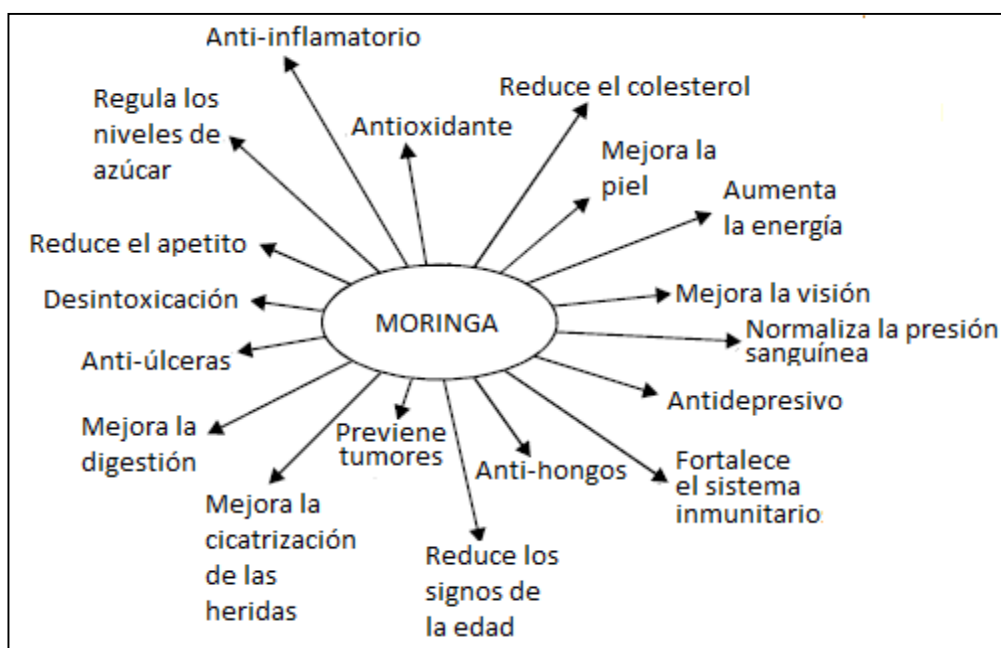


Figura 19: Usos medicinales. Fuente: Paliwal et. Al. 2011.

4. MATERIALES Y MÉTODOS.

Tras haber estudiado en el Capítulo 3 las características de la *Moringa oleifera* y sus potenciales usos, se procede a comenzar el proceso deductivo de la potencial distribución de la *Moringa oleifera* en Península Ibérica, Islas Baleares e Islas Canarias

En este capítulo se explica la metodología seguida para lograr el objetivo del estudio, conocer las posibles zonas de introducción de la *Moringa oleifera* en la Península Ibérica, Islas Baleares e Islas Canarias.

Para establecer las posibles zonas de introducción, se trató de determinar la estación de la especie, que es la suma de todos los factores abióticos que afectan a la distribución y crecimiento de las especies y su tolerancia a los mismos (Serrada et al., 2008).

Para determinar la estación se sigue el esquema que plantean Serrada et al. (2008), que se recoge en la siguiente tabla:

Altitud:	Óptimo de la especie.
Régimen pluviométrico:	<u>PMA</u> : Precipitación media anual. <u>P verano</u> : Precipitación que necesita la especie durante el estío. Comportamiento de la especie frente al régimen hídrico
Régimen térmico:	<u>TMA</u> : Temperatura media anual. <u>TMC</u> : Temperatura media del mes más cálido. <u>TME</u> : Temperatura media del mes más frío. Comportamiento de la especie al régimen térmico.

Caracteres edáficos (según GANDULLO y SANCHEZ PALOMARES, 1994):	<u>Profundidad</u> : limitante o no limitante. <u>Textura</u> : Arenosa, limosa, arcillosa, franca. <u>CRA</u> : Capacidad de retención de agua. <u>Reacción</u> : tipo de regolito, en su caso pH. <u>Caliza activa</u> : calcífugas o no calcífugas, en su caso valores en % de caliza activa que soporta la especie. <u>Salinidad</u> : tolerante o no tolerante.
--	---

Tabla 12: Caracterización de la estación. Elaboración propia de la tabla.
Fuente: Serrada et al., 2008.

Además, Serrada et al. (2008) añaden lo siguiente: “En algunos casos no se dispone de TMC ni de TMF, sino de TMMF (Temperatura media mínima del mes más frío) y TMMC (Temperatura media máxima de mes más cálido), en su área de distribución mundial según CAB (2000)”. Con estos valores del régimen de temperaturas, sería posible conocer el Subtipo fitoclimático según Allué (1990) y el Piso bioclimático según Rivas Martínez (1987).

Al aplicar este método de trabajo a la *Moringa oleífera*, se observó que esta vía de investigación no era posible, debido a la ya mencionada escasa información de la especie en cuanto a régimen térmico. Algunos de los datos necesarios para aplicar esta metodología, son inexistentes o al menos no publicados hasta la fecha, como es el caso de los valores de TMC (Temperatura media del mes más cálido) y TMF (Temperatura media del mes más frío) que tolera la planta. También se intentaron obtener los valores de TMMF (Temperatura media mínima del mes más frío) y TMMC (Temperatura media máxima del mes más cálido) de la *Moringa oleífera* en su área de distribución mundial según CAB (2000), pero no fue posible encontrar dichos datos.

Por todo ello, en este estudio no es posible delimitar el Subtipo fitoclimático según Allué (1990), ni el piso bioclimático según Rivas Martínez (1987) para la *Moringa oleífera* en España.

Ante la posibilidad de que se plantee el problema de no disponer de datos concretos, Serrada et al. (2008) proponen emplear la clasificación climática de Köppen.

Esta clasificación se definió hace unos 100 años, pero en la actualidad sigue siendo una de las clasificaciones más utilizadas en estudios climáticos de todo el mundo por su generalidad y sencillez. Define distintos tipos de clima a partir de los valores medios mensuales de precipitación y temperatura, y su influencia sobre la distribución de la vegetación y de la actividad humana. Divide los climas del mundo en cinco grupos principales, describiendo cada tipo de clima con una serie de letras. En el Anexo I, se detalla más acerca de la Clasificación Climática de Köppen y sus tipos de clima.

Los tipos de clima, según la clasificación de Köppen de la Península Ibérica, Islas Baleares e Islas Canarias se muestran en la siguiente figura:

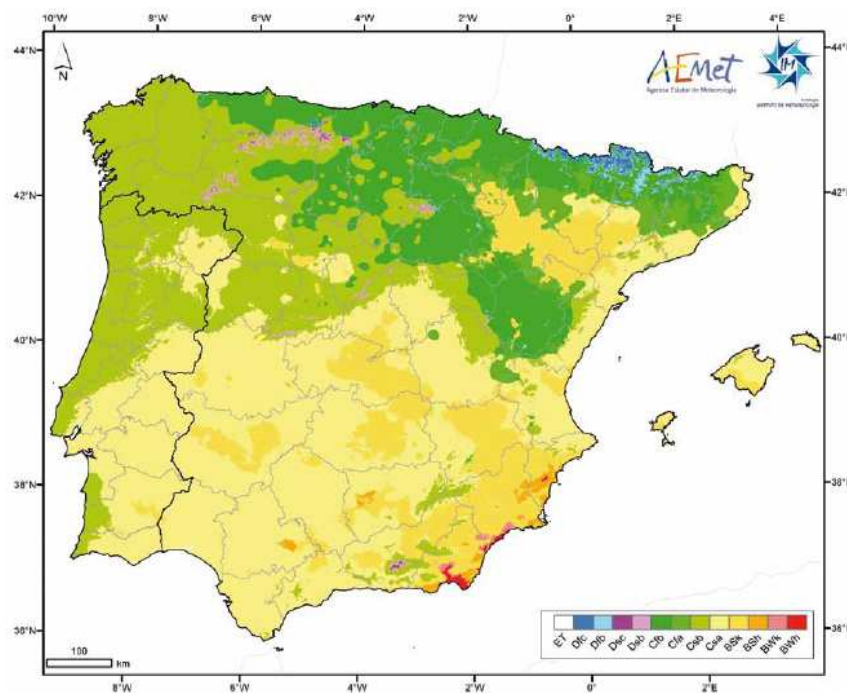


Figura 20: Clasificación de Köppen en la Península Ibérica e Islas Baleares. Fuente: AEMet 2011.

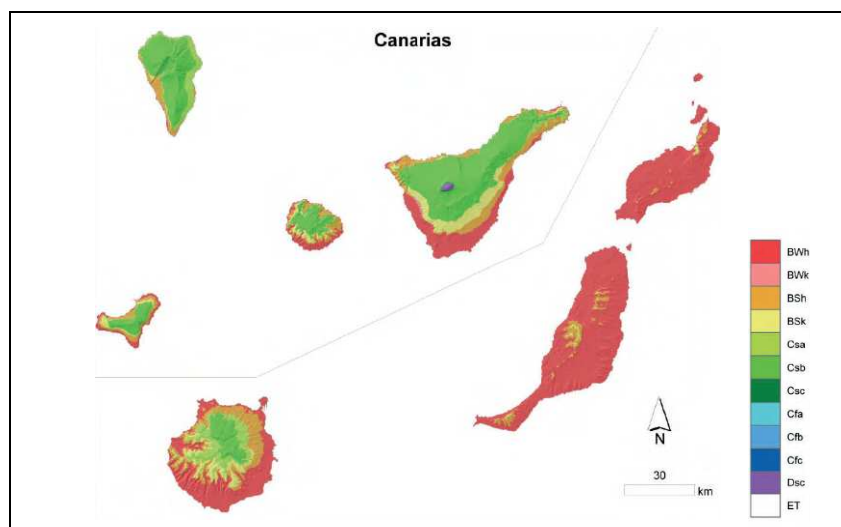


Figura 21: Clasificación de Köppen en las Islas Canarias. Fuente: AEMet 2012.

Según Falasca & Bernabé (2008), en su región de origen, la *Moringa oleifera* habita en el tipo de clima “Cfa” de la clasificación de Köppen. Por lo que dada la falta de datos, se tomará este valor como referencia.

Este tipo de clima “Cfa”, se caracteriza por lo siguiente:

- “C”: significa que la temperatura media del mes más frío es menor de 18°C y superior a 0°C.
- “f”: significa húmedo sin estación seca.
- “a”: alude que la temperatura media del mes más cálido supera los 22°C.

Lo que se traduce en que el tipo de clima Cfa, se caracteriza por ser un clima templado con verano cálido y con precipitaciones regulares durante todo el año.

Se observa que en el mapa de la Clasificación Climática de Köppen de la Península Ibérica y Baleares tiene el tipo de clima “Cfa”, tiene una región muy reducida y que en las Islas Canarias, ningún punto de su geografía lo tiene. Por este motivo, fue necesario optar otra vía de trabajo, para llevar a cabo el objetivo de estudio, aunque si se tendrá en cuenta este parámetro.

4.1. MATERIALES Y MÉTODOS APLICADOS EN LA REALIZACIÓN DEL ESTUDIO.

En este epígrafe se explicará de forma detallada la metodología aplicada en el estudio. Para lograr el objetivo del estudio, se van a seguir los siguientes pasos:

1. Recopilar la información de la especie.
2. Caracterizar ecológicamente la Península, Islas Baleares e Islas Canarias.
3. Sintetizar la información.

4.1.1. Recopilación de información de la *Moringa oleifera*.

4.1.1.1. Distribución actual de la *Moringa oleifera*.

En primer lugar, se hizo una extensa recopilación de información sobre distribución actual de la *Moringa oleifera* a escala mundial, clasificando la información en función de donde habita de forma natural y donde lo hace como especie introducida. De esta manera se conoce un poco más acerca de la adaptabilidad ecológica de la especie.

Esta recopilación de la literatura existente, puede verse detalladamente en el apartado 3.4. Distribución de la *Moringa oleifera* en el mundo, del Capítulo 3.

Lo único que se logró conocer al respecto, son los países donde está asentada la planta ver figura 16, pero en ningún caso se llega a saber con suficiente detalle acerca de la ubicación concreta de la región donde se encuentra la planta. Por lo que esta información resulta muy general, y a penas aporta información, pues las variables ecológicas en un territorio tan amplio (un país), tienen una gran variabilidad. Un claro ejemplo de esto es si se acerca este supuesto al caso de España, no se puede considerar el mismo clima y suelo en Almería que en Lugo.

Esto supuso que el número de datos de partida del estudio fuese menor del esperado y, por lo tanto, el nivel de detalle del estudio no fuese el que en un principio se aspiraba.

Ante este problema de falta de información sobre su distribución mundial, se optó por recopilar literatura publicada sobre las características ecológicas de la especie, para conocer un poco más acerca de la *Moringa oleifera*. Fue el siguiente paso.

4.1.1.2. Características ecológicas de la *Moringa oleifera*.

En segundo lugar, se recopiló la literatura existente hasta nuestros días en cuanto a parámetros fisiográficos, climáticos y edáficos de la especie. Dicho trabajo se muestra en el apartado “3.3. Características ecológicas de la especie”.

Para la realización del estudio, fue necesario realizar una selección de entre todos los datos que aportaba la literatura, para determinar las posibles zonas de cultivo de la especie. Este análisis ha permitido establecer los valores que definen el hábitat de la *Moringa oleifera*.

En los parámetros climáticos, se decidió optar por aquellos valores que eran más restrictivos, dentro de los tolerados por la especie, en cuanto a temperaturas y precipitación. De esta manera, las regiones que se obtuvieran como posibles zonas de introducción, serían aquellas donde en principio la planta no va tener problemas de supervivencia, crecimiento o floración, entre otros.

En lo que a parámetros edáficos se refiere, el aporte de la literatura resulta especialmente limitado. En ninguno de los caso se consigue información detallada al respecto, con datos edáficos obtenidos tras los pertinentes análisis de muestras recogidas, después de la apertura de una calicata.

Por ello, se consideró más oportuno no tener en cuenta este parámetro ecológico en el estudio. Pues a pesar que las publicaciones aseguren éste no va a suponer un problema para la *Moringa oleifera*, se consideró más conveniente no aplicarlo. Y cuando se conozca más sobre este parámetro, se tenga en cuenta en futuros estudios.

Por lo tanto, en las zonas donde se vaya a proceder a la introducción de la especie, habrá que realizar el estudio edafológico pertinente, para comprobar que la condición de encharcamiento no se manifiesta.

En los parámetros fisiográficos de la moringa, habría de tenerse en cuenta la altitud, la pendiente media y la orientación. Una vez más, es protagonista la falta de información. En lo referente a pendiente y orientación, fue imposible localizar información acerca de los mismos, pues ningún autor aporta datos de estos parámetros, si bien se sabe que es una especie de luz. La información de altitud recopilada, la mayoría es procedente de países tropicales, donde puede alcanzar altitudes de hasta 1.800 m. Finalmente, este parámetro no se ha considerado al no poder comparar la altitud que alcanza en países tropicales, con la altitud del territorio de estudio.

A continuación, se muestra una tabla con los parámetros climáticos seleccionados para definir el hábitat de la especie, obtenidos de la recopilación de información de la *Moringa oleifera*.

Régimen pluviométrico (mm)	<u>PMA</u> : (300) 500 – 1.500 (2.250) mm <u>P verano</u> : tolera hasta seis meses de sequía
Régimen térmico (°C)	Temperatura media anual > 13 °C
	Temperatura máxima ≤ 48 °C
	T ^a media de las mínimas invierno > -1 °C (Diciembre, enero y febrero)
	Temperatura media verano > 25 °C (Junio, julio, agosto)
Tipo de clima según Clasificación Climática Köppen en la región de origen*.	$0\text{ °C} < T^a \text{ media enero} < 18\text{ °C}$ } <u>Temperaturas</u> : $T^a \text{ media julio} > 22\text{ °C}$ <u>Precipitación</u> : sin sequía estival.

Tabla 13: Parámetros ecológicos seleccionados. Fuente: elaboración propia

4.1.2. Recopilación de datos de Península Ibérica, Islas Baleares e Islas Canarias.

4.1.2.1. Características climáticas.

La información sobre las características climáticas, se ha obtenido de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMet), quien ha elaborado el Atlas Climático Ibérico (2011) y el Atlas Climático de los archipiélagos de Canarias, Madeira y Azores (2012).

Los elementos climáticos estudiados son la Temperatura del Aire (en grados Celsius) y la Precipitación (en milímetros), tanto en la Península Ibérica como en las Islas Baleares y Archipiélago Canario.

La AEMet, facilitó la cartografía de los valores medios de temperatura y precipitación, recurriendo a Sistemas de Información Geográfica (SIG). Imprescindibles para la realización del análisis de datos en el estudio.

Para conocer más acerca de los Atlas Climáticos y la cartografía utilizada, consultar en Anexo II: Agencia Estatal de Meteorología (AEMet).

4.1.3. Síntesis de la información.

En tercer y último lugar, se van a aplicar los parámetros ecológicos seleccionados como hábitat de la *Moringa oleífera*, al territorio objeto de estudio. De esta manera, se pretende conocer las regiones donde se cumplen los condicionantes climáticos requeridos por la especie y así lograr delimitar sus posibles zonas de introducción.

A partir de este momento, a los parámetros ecológicos de la moringa también se les va a conocer con el nombre de factores limitantes de la distribución de la moringa en la Península Ibérica, las Islas Baleares y Canarias.

Para llevar a cabo la síntesis de datos, ha sido necesaria la utilización de un Sistema de Información Geográfica. En concreto, el programa informático

ArcGIS, en su versión 9.3. Se utilizaron las aplicaciones ArcMap y ArcCatalog del software. La primera es una aplicación orientada a la construcción de mapas, editar capas de información geográfica y analizar datos espaciales; y la segunda administra los archivos que almacenan los datos geográficos.

Para realizar análisis ráster en ArcGIS, es imprescindible utilizar la extensión de programa “*Spatial Analyst*”, que debe ser instalada de forma independiente al núcleo de ArcGIS. En ésta extensión del programa se encuentra la herramienta Calculadora Ráster o “*Raster Calculator*” (Figura 22), la cual permite realizar consultas espaciales o definir zonas que cumplen unas condiciones determinadas. Siempre dará como resultado la salida de una capa nueva, en la que las celdas que tengan el valor 1 serán las que cumplen las condiciones especificadas y con valor 0, las que no lo hacen.

En el estudio se aplicarán algunos operadores relacionales, que permiten evaluar condiciones de relación específicas, que son =, >, <, <>, >=, <= (igual, mayor, menor, distinto de, mayor o igual, menor o igual, respectivamente); también se utilizarán determinados operadores aritméticos, que permiten la multiplicación, división, suma y resta de dos capas ráster, números o combinación de ambas; y operadores booleanos, que utilizan la lógica booleana (verdadero o falso), sobre las capas de entrada para hacer un análisis celda por celda, son los siguientes: “and (&)”, “or (|)”, “xor (i)”, “not (^)”.

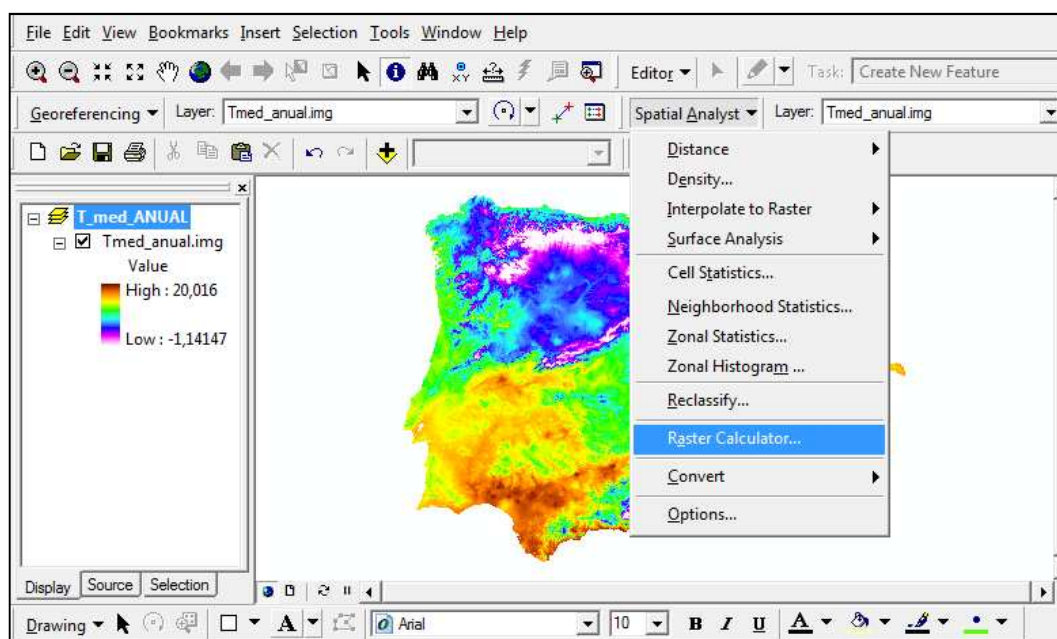


Figura 22: Calculadora ráster.

Esta herramienta será muy útil, para crear capas ráster, con cada uno de los parámetros ecológicos que se han escogido como factores limitantes (temperaturas, precipitación y altitud), para la introducción de la especie.

Se obtendrán tantas capas ráster, como parámetros ecológicos se han escogido para la introducción de la especie (recogidos en Tabla 13). Estas capas ráster serán modelos fisiográfico-climáticos digitales parciales (de cada parámetro a estudiar).

Posteriormente, para establecer las áreas potenciales de introducción de la *Moringa oleifera* en la Península Ibérica, Islas Baleares e Islas Canarias, se procederá a la integración de los modelos parciales en un modelo final que definirá el hábitat de la moringa en el territorio estudiado.

En la figura 23, se muestra un ejemplo de la aplicación de esta herramienta con el parámetro de temperatura media anual $> 13^{\circ}\text{C}$. El resultado será un modelo digital parcial de esta variable.

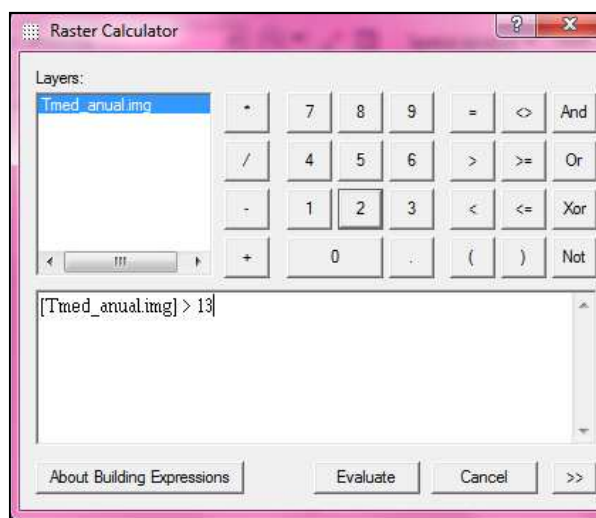


Figura 23: Ejemplo aplicación calculadora ráster.

Simplemente se ha de marcar la capa ráster de entrada sobre la que se desea efectuar el cálculo (marcada en azul en la imagen superior), seleccionar la operación matemática a aplicar (en este caso “>13”) y pulsar “Evaluate”.

El resultado de aplicar la calculadora ráster, es una nueva capa ráster (modelo digital parcial), que por defecto aparece con el nombre de “*Calculation*” y a la que se le asignará el nombre correspondiente. En el ejemplo que nos ocupa, *Tmed_anual*>13. En ella, las celdas que tengan el valor 1 y que por tanto cumplan la condición estipulada, serán aquellas que en la capa de entrada (*Tmed_anual*) tuviesen una temperatura superior a 13 °C; y con valor 0, las que no alcancen dicho valor. El resultado tras ejecutar la calculadora ráster, se puede ver en la figura 24, para el valor temperatura media anual “>13 °C”.

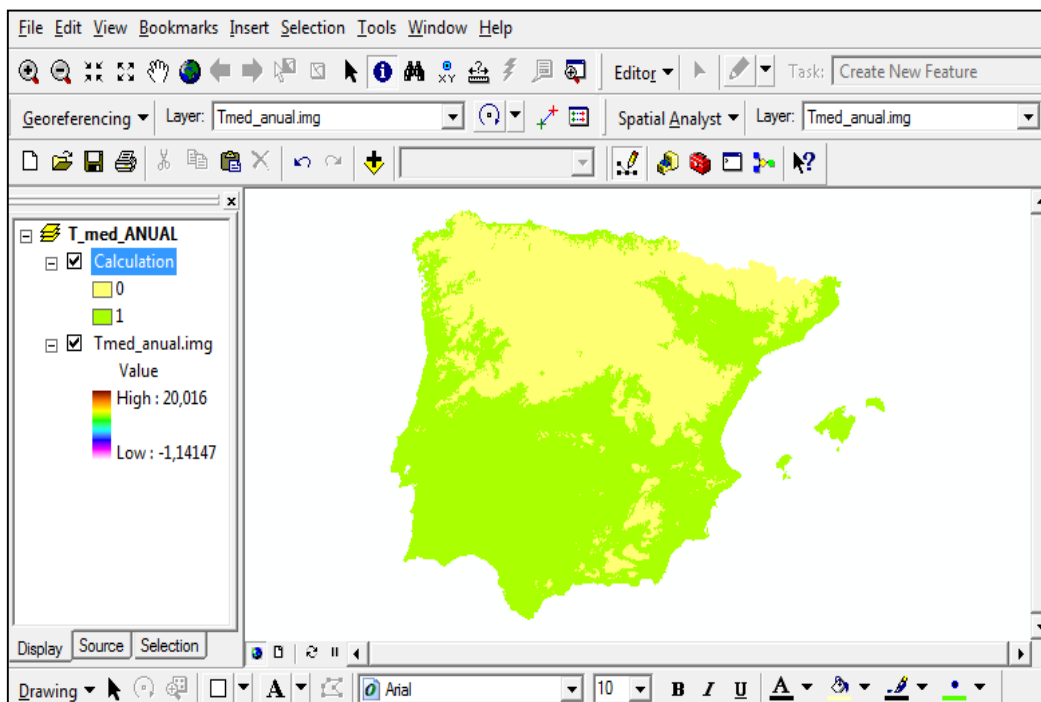


Figura 24: Resultado aplicación calculadora ráster

En la figura 24, se observa en la imagen de la Península Ibérica y Baleares, de color amarillo aquellos píxeles con valor 0, a los que se llamarán Zona no apta, por no cumplir el parámetro ecológico estudiado, y en tono verde, los que tienen valor 1, que serán la Zona apta. A este “calculation” se le dará el nombre de Tmed_anual>13.

Tal y como se dijo anteriormente, aplicando esta herramienta a cada uno de los parámetros escogidos, se obtienen tantos modelos digitales parciales (nuevas capas ráster - “calculation”), como parámetros se han considerado. A cada uno de estos modelos, se asignará el nombre correspondiente.

En el parámetro temperatura media del mes más frío (enero), fue necesario hacer una pequeña variación en la metodología, pues este valor debe oscilar entre 0 °C y 18 °C. Se volvió a emplear la Calculadora ráster, pero se tuvo que añadir el operador booleano “And (&)”. El resultado no difiere de los anteriores,

es una nueva capa ráster, con valor 1 a los datos verdaderos, y 0 a los falsos. Ver figura 25.

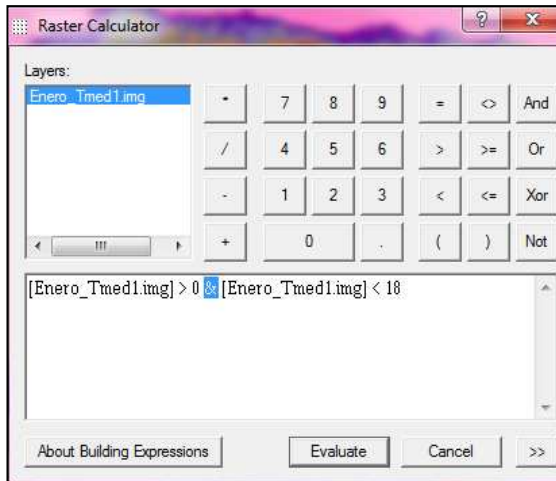


Figura 25: Aplicación operador booleano.

En la figura 25, se muestra la utilización del operador booleano “and (&)”, para hacer que la capa ráster cumpla dos requisitos en una misma operación.

El procedimiento es similar a los casos anteriores: marcar la capa ráster de entrada sobre la que se desea efectuar el cálculo (marcada en azul en la imagen superior– Enero_Tmed1.img), seleccionar la operación matemática a aplicar (>0); pulsar el operador booleano “and (&)”, volver a seleccionar la capa ráster (Enero_Tmed1.img) y marcar el otro condicionante (<18); finalmente pulsar “Evaluate”.

El resultado será un nuevo “calculation”, que recibirá el nombre de $0 < \text{Tmed_Enero} < 18$. Una vez más los píxeles que cumplan lo establecido tendrán el valor 1 (color verde), y lo que no lo hagan el valor 0 (color amarillo). Ver figura 26.

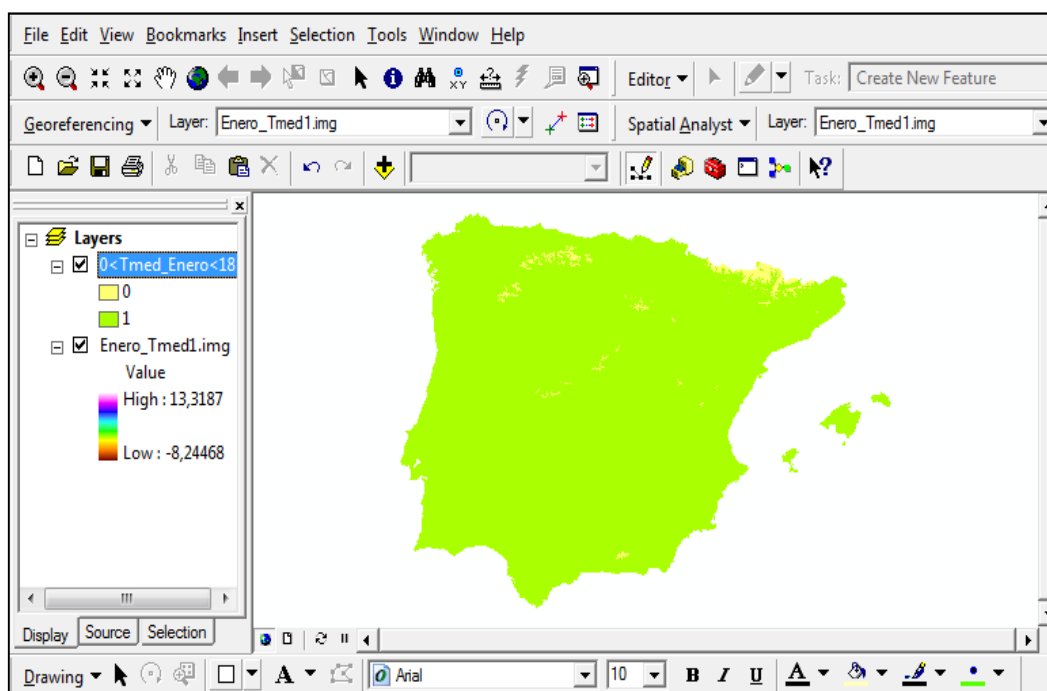


Figura 26: Resultado tras aplicar el operador booleano “and (&)”

En el caso del parámetro de la temperatura máxima, no fue posible aplicar esta metodología, ya que la AEMet no disponía de esta información en formato digital.

En su lugar, fue necesario solicitar a la AEMet información de aquellas estaciones donde se superase la temperatura máxima tolerada por la especie (48 °C). Dichos datos fueron recibidos en tablas, con formato “excel”, organizados por Comunidades Autónomas, donde se recogen los días en los que estaciones climatológicas registran valores superiores a este valor. En el Anexo IV, se recoge esta información.

En estas tablas, se observa que temperaturas superiores a 48 °C se dan solo de forma puntual en el territorio objeto de estudio. Lo que hace que este parámetro resulte irrelevante, pues no es un valor habitual en el territorio español. A pesar de ello, cuando se obtengan los resultados con las posibles zonas de introducción de la especie, se volverá a consultar estos datos para

saber si existe riesgo de esta temperatura extrema que causa la muerte de la planta.

El análisis de los parámetros escogidos, como valores que definen el hábitat de la *Moringa oleífera*, permitirá conocer la aptitud ecológica de la Península Ibérica, las Islas Baleares y el Archipiélago Canario, para su posible introducción.

Para lograr un único modelo final del hábitat de la moringa y por tanto, conocer sus Posibles Zonas de Introducción en el territorio objeto de estudio, fue necesario superponer cada uno de los modelos digitales parciales de los parámetros ecológicos obtenidos. La integración de todos los modelos parciales en uno delimitará las Zonas Aptas para Introducción de la especie y las No Aptas.

En esta ocasión, se volvió a utilizar el operador aritmético multiplicación (*), que permite operar con dos o más capas ráster. Se multiplicaron todas las nuevas capas ráster ("Calculation"- modelos digitales parciales), obtenidas con cada uno de los parámetros que limitan y condicionan la distribución de la especie, resultando una nueva capa ráster de salida que recibirá el nombre de Posibles Zonas de Introducción.

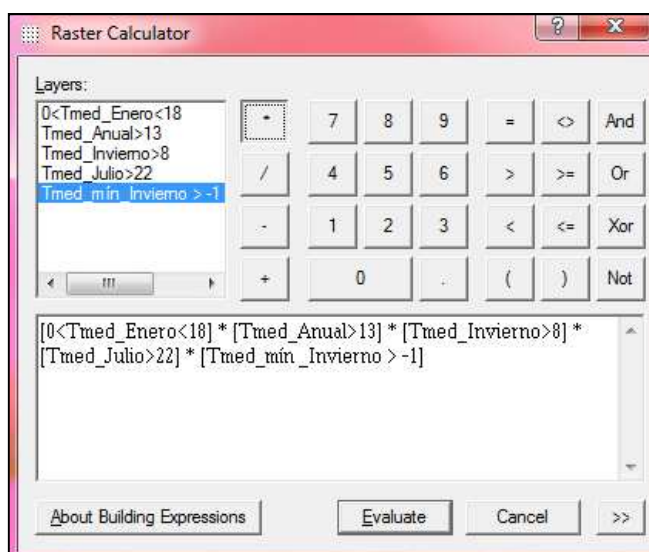


Figura 27: Aplicación calculadora para obtener un modelo final.

En la figura 27, se observa el uso del operador aritmético multiplicación (*) con algunos de los parámetros aplicados en el estudio.

Una vez más, en la capa POSIBLES ZONAS DE INTRODUCCIÓN, en cada uno de los píxeles que lo forman, con que sólo uno de los parámetros no se cumpla y por tanto tenga el valor 0, le corresponderá el valor 0. Puesto que un píxel con valor 0 multiplicado por otro píxel con valor 1 ó 0, resulta un nuevo píxel en la capa de salida con valor 0.

Esto permite definir como zonas aptas para el cultivo de la especie, a aquellas áreas donde todos los parámetros ecológicos seleccionados se cumplen; y zonas no aptas, aquellas donde uno o más parámetros no se cumplen, imposibilitando así el desarrollo de la especie.

5. RESULTADOS.

En el presente capítulo se muestran los resultados obtenidos tras aplicar la metodología explicada en el Capítulo 4, Materiales y Métodos. El objetivo es obtener un mapa donde se localicen las regiones de potencial introducción de la *Moringa oleifera* en la Península Ibérica, las Islas Baleares y el archipiélago Canario, y definir las clases de potencialidad.

Se han estudiado los parámetros climáticos que describen el hábitat de la moringa, generando tantos modelos digitales parciales como parámetros se han planteado para, finalmente, incluirlos todos en único mapa que defina la posible área de introducción en el territorio estudiado.

Los parámetros ecológicos que caracterizan el hábitat de la *Moringa oleifera*, se clasificaron en tres grupos: “factores excluyentes”, que serán aquellos bajo los cuales es imposible su supervivencia; “factores limitantes”, a aquellos que condicionan su distribución pero no causan la muerte al ser menos restrictivos para la especie; y “factores idóneos”, que son aquellos en los que la planta se desarrolla favorablemente.

5.1. PARÁMETROS CLIMÁTICOS.

Se van a estudiar los parámetros climáticos, temperatura y precipitación. Dentro de ellos, los hay que influyen más a la especie y los hay que menos. Por ello, siguiendo la clasificación propuesta, se agruparán en “factores excluyentes” a la temperatura media mínima de invierno inferior a -1 °C, la temperatura máxima superior a 48 °C, precipitación media anual inferior a 300 mm y la precipitación media anual superior a 2.250 mm. Se considerarán “factores idóneos” a la temperatura media > 25 °C y Pp media anual entre 500 mm y 1.500 mm. El resto de parámetros se considerarán “factores limitantes”.

5.1.1. Temperatura.

5.1.1.1. Temperatura media de invierno.

La *Moringa oleifera* es una especie especialmente sensible a las bajas temperaturas. Durante los meses más fríos soporta entre $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $3\text{ }^{\circ}\text{C}$, tolerando heladas cortas y poco intensas. Si la helada persistiese, se produce la muerte de la planta. Por lo que se considerará este factor como “excluyente” de las posibles zonas de implantación.

Los valores medios mensuales más bajos se producen en la Península entre los meses de diciembre y febrero, en las áreas de mayor altitud de España y Portugal (AEMet, 2011). Por lo que en la Figura 28 se aplicó el parámetro $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ para los meses de invierno (diciembre, enero y febrero). De esta manera se garantiza que las regiones donde se obtengan como potenciales a la introducción, no habrá riesgo de perecer la planta por heladas intensas.

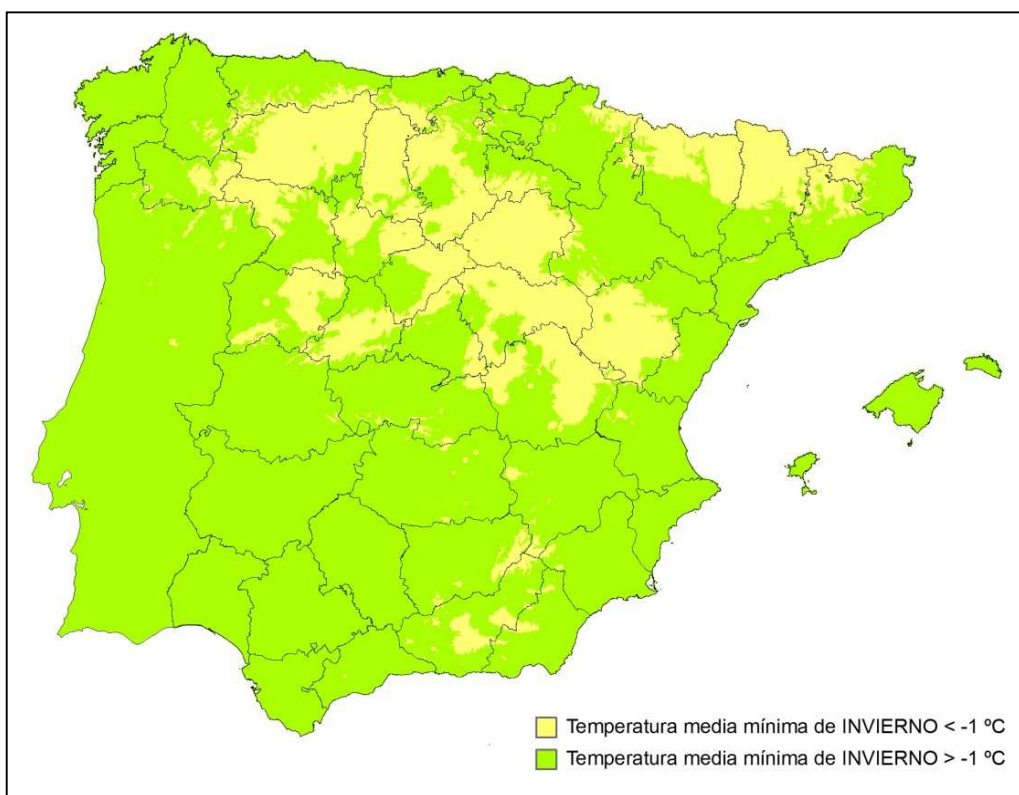


Figura 28: Temperatura media de invierno $> -1\text{ }^{\circ}\text{C}$ en la Península Ibérica e Islas Baleares.

En las Islas Canarias, las temperaturas medias mensuales más bajas se registran en todo el archipiélago en los meses de enero y febrero, con valores entorno a los 17 °C a nivel del mar o un poco más bajos en Lanzarote y Fuerteventura, y con valores por debajo de -2 °C en las zonas más altas de la isla de Tenerife en el mes de enero (AEMet, 2012). De manera que al estudiar la variable de -1 °C durante el invierno en la Figura 29, se contempló que en la mayor parte del territorio canario la temperatura media es superior a este valor, por lo que no va a ser restrictivo para la introducción de la especie, exceptuando las zonas más altas de la isla de Tenerife, donde las bajas temperaturas limitarán su potencial introducción.

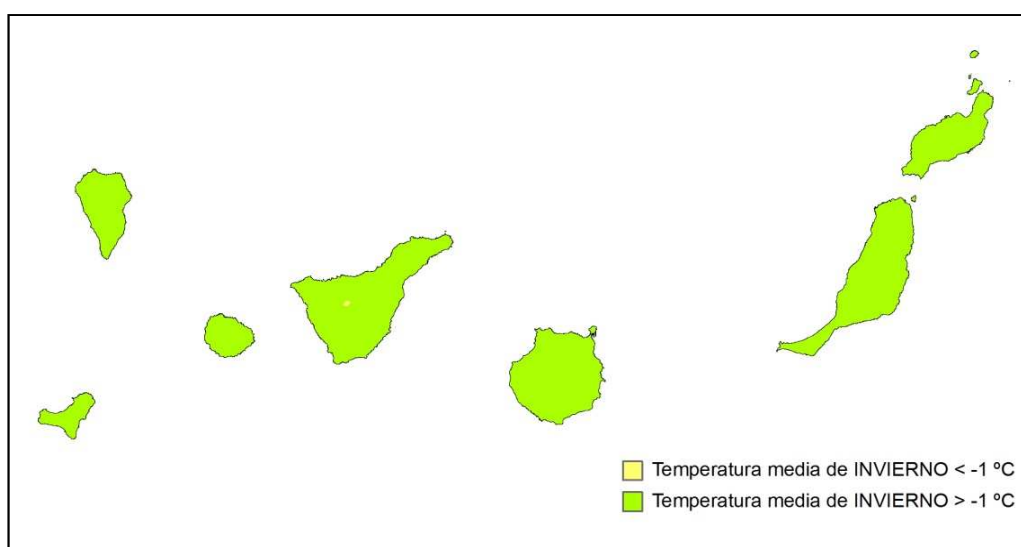


Figura 29: Temperatura media de invierno > -1 °C en Islas Canarias

5.1.1.2. Temperatura máxima.

El otro factor que se considera excluyente de la distribución de la *Moringa oleifera*, es la temperatura máxima que tolera, 48°C. Ya que temperaturas superiores a éste valor también son mortales para la especie.

En la Península, los valores medios de la temperatura máxima varían entre los 17/20 °C y los 32/35 °C. Se registran los valores más elevados de temperatura

máxima en la Península en verano; en concreto, en los meses de julio y agosto. A su vez, los valores más elevados en España, se registran en Extremadura e interior de Andalucía (AEMet, 2011).

En las islas Canarias las temperaturas medias mensuales más elevadas se registran en los meses de agosto y septiembre, con valores entorno a los 24 °C en las zonas situadas a nivel del mar, siendo un poco más altos en las islas orientales. Mientras que en las zonas elevadas, se producen en los meses de julio y agosto. En los meses de verano los valores medios de temperatura máxima diaria alcanzan los 28 °C en las zonas costeras de Lanzarote y Fuerteventura y en las costas de Tenerife y Gran Canaria no orientadas al norte, mientras que en las áreas a nivel del mar se sitúan en torno a 26 °C (AEMet, 2012).

De manera que, al no alcanzarse los 48 °C que tolera como máximo la especie, esta variable no será limitante a la hora de su introducción en la Penínsulas, las Islas Baleares ni las Islas Canarias.

Como se comentó en el Capítulo de Materiales y Métodos, en la actualidad la AEMet no dispone de mapas digitales de temperaturas máximas, por ello se solicitó información de las estaciones que hubiesen registrado temperaturas superiores a 48 °C en los últimos años (Anexo IV). Tras su análisis, se concluye que temperaturas tan extremas sólo se han dado en ocasiones puntuales. Por ello, se considera un factor que no va a afectar en la introducción de la planta en el territorio de estudio.

5.1.1.3. Temperatura media anual 13 °C.

Los valores medios anuales de la temperatura media en la Península Ibérica e Islas Baleares, varían entre valores inferiores a 2,5 °C en las áreas de mayor altitud de España (Pirineos) y valores superiores a 17 °C que se producen esencialmente en las provincias españolas de Huelva, Sevilla, Cádiz y parte de la franja costera entre Málaga y Alicante, tal y como muestra la Figura 30 (AEMet, 2011).

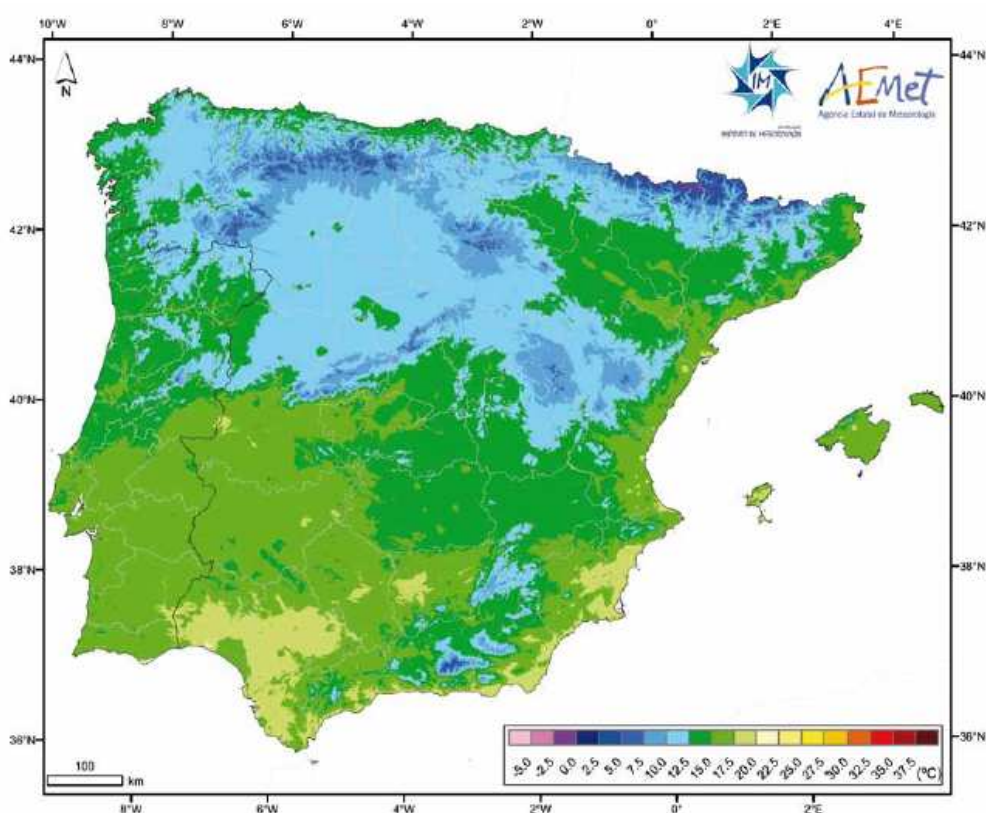


Figura 30: Temperatura media anual de la Península Ibérica e Islas Baleares.
Fuente: AEMet, 2011.

Los valores de la temperatura media anual en el archipiélago de Canarias, varían desde los 20 °C a nivel del mar hasta los 4 °C que se alcanzan en el Teide (en la isla de Tenerife). En las zonas altas de las islas de El Hierro, Gran Canaria y La Gomera la temperatura media anual ronda los 12 °C, mientras que en las zonas más altas de la isla de La Palma este valor se sitúa por debajo de los 10 °C (AEMet, 2012). En la Figura 31, se muestra la

representación de la temperatura media anual en las islas Canarias.

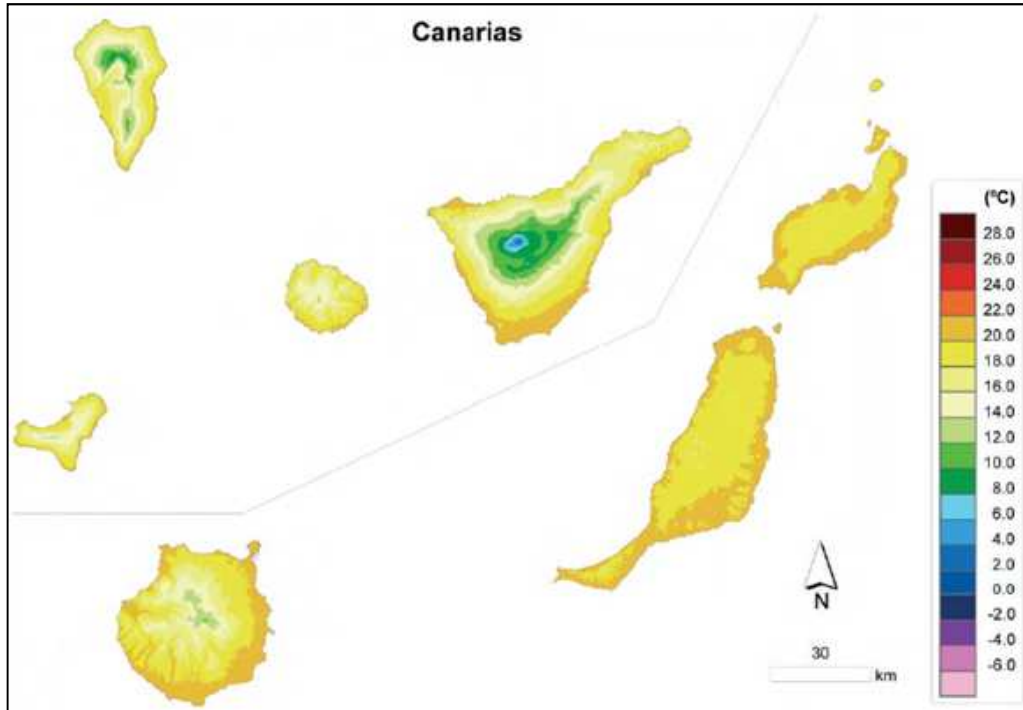


Figura 31: Temperatura media anual de las Islas Canarias. Fuente: AEMet, 2012.

El crecimiento de la *Moringa oleifera* se ve favorecido cuando la temperatura media anual es mayor de 13 °C. Por ello, se va a aplicar esta variable para conocer las regiones donde se cumple esta condición.

En la Figura 32, se delimitan las regiones peninsulares y baleares, donde la planta debería tener un buen crecimiento pues la temperatura media anual supera los 13°C (representado en color verde). Y en la Figura 33 se delimitan las regiones de las islas Canarias donde se aplica este condicionante.

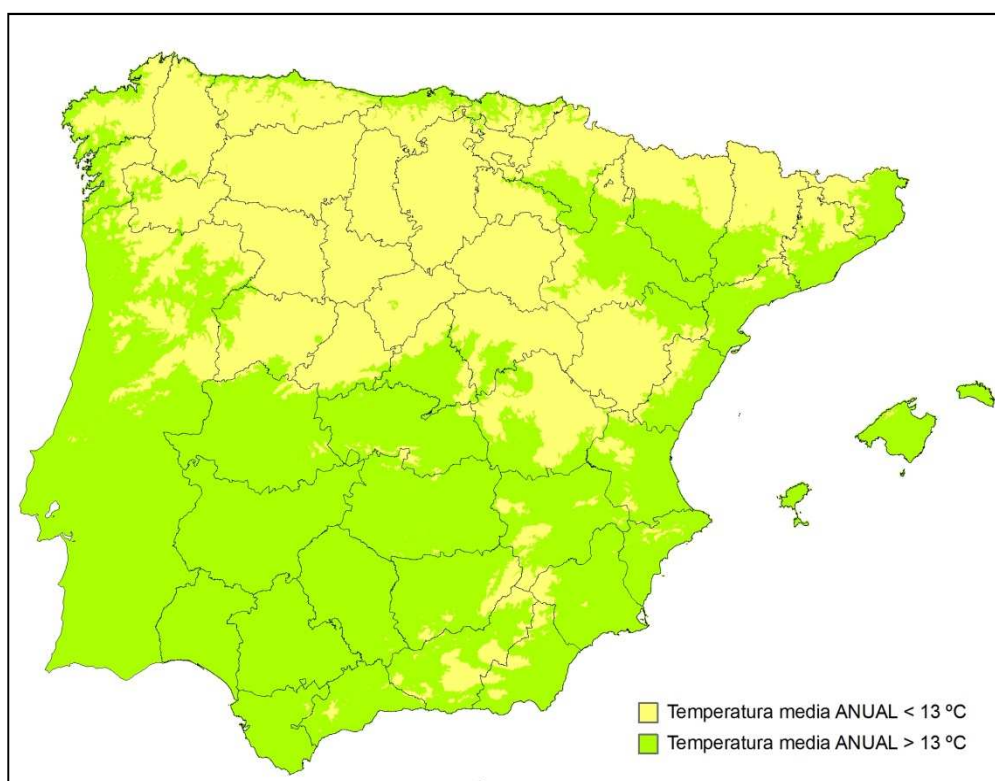


Figura 32: Temperatura media anual > 13 °C en la Península Ibérica e Islas

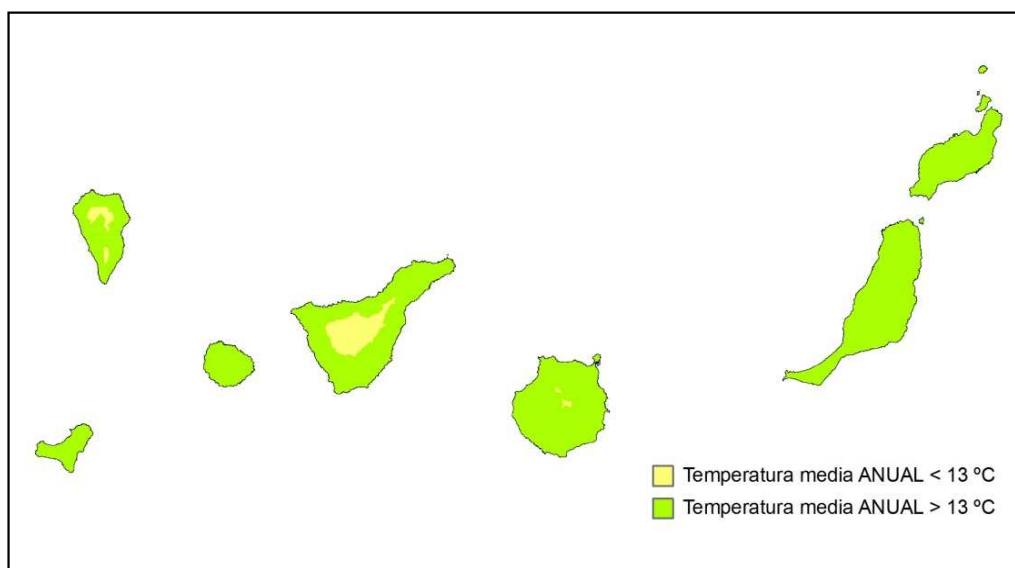


Figura 33: Temperatura media anual > 13 °C en las Islas Canarias

El principal fin de la introducción de la *Moringa oleifera* es lograr una buena producción, ya sea de hojas para forraje, de semillas para extracción de aceite o cualquier otra de las múltiples posibilidades que proporciona la especie. Por

ello, se trató de conocer más sobre la influencia de esta variable, pues un mayor crecimiento supondrá una mayor productividad.

Para llevarlo a cabo se intentaron conocer las zonas del territorio Peninsular, Balear y Canario, donde antes comienzan a alcanzarse temperaturas medias de 13 °C. Primeramente, se calculó esta variable para la primavera y a continuación, se localizaron las regiones donde se alcanzaba esta temperatura media en otoño. De tal manera, que al superponer ambos mapas, se conociesen las zonas donde antes comienza el crecimiento y donde más tarde se detiene, logrando así un mayor período de crecimiento.

En la Figura 34 se aplicó el valor de temperatura media 13 °C, a los meses de marzo, abril y mayo (primavera), para el territorio Peninsular y Balear, y en la Figura 35, se estudió su aplicación para el territorio Canario. De esta manera, se logra hacer una aproximación de las áreas donde se alcanza esta temperatura media, de manera que se conozcan los lugares donde en principio la especie retome su crecimiento (representadas en color verde).

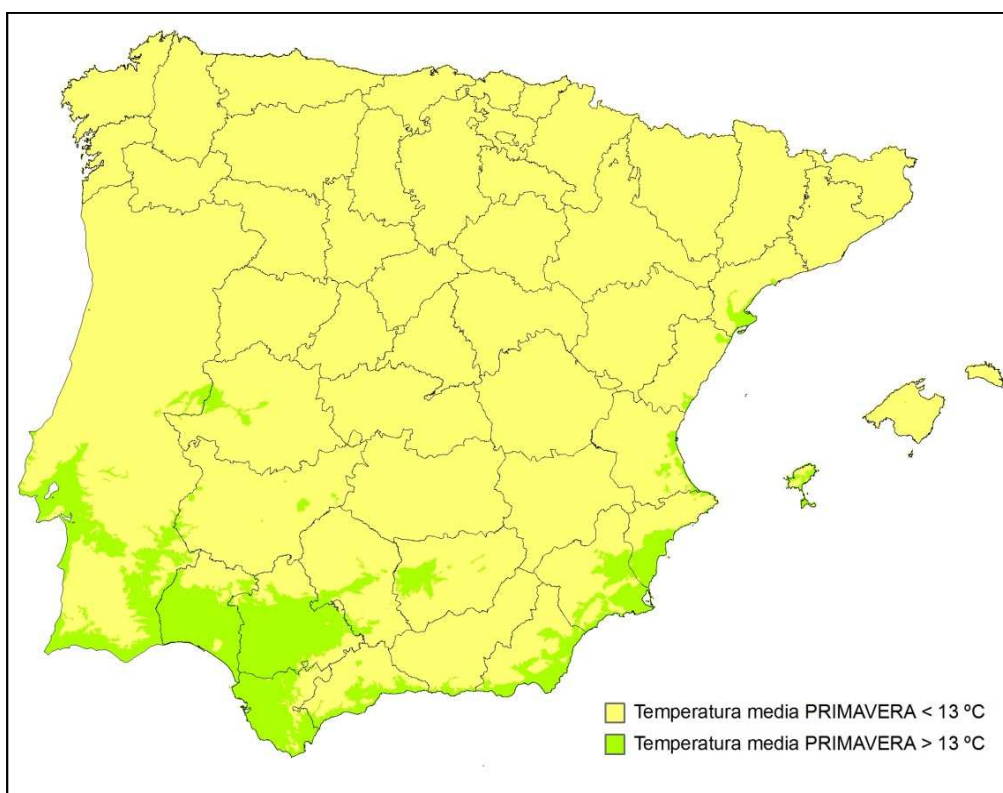


Figura 34: Temperatura media primavera > 13 °C en la Península Ibérica e Islas Baleares

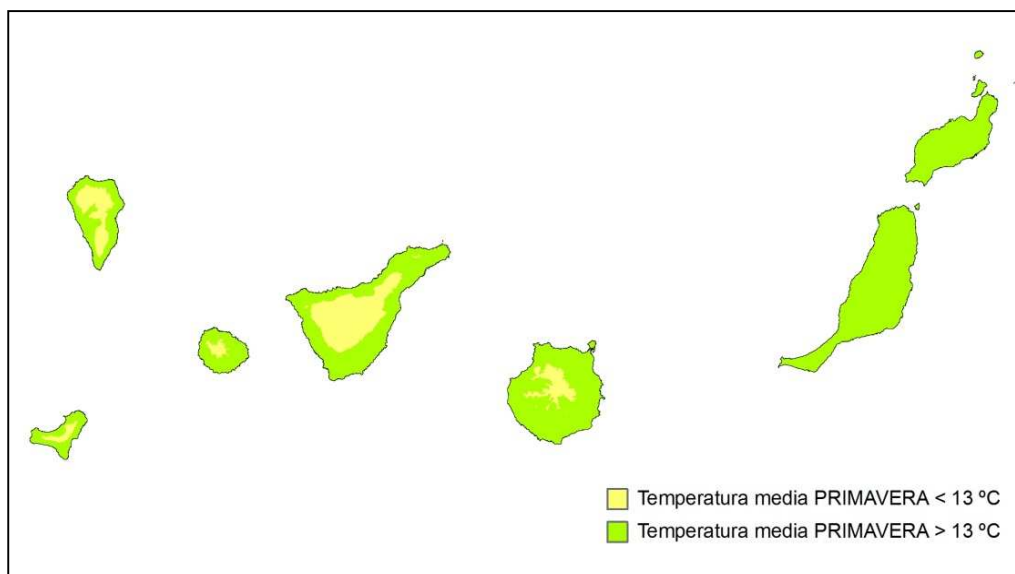


Figura 35: Temperatura media de primavera > 13 °C en las Islas Canarias.

En la Figura 36 se aplicó el valor temperatura media a los meses de septiembre, octubre y noviembre (otoño), para la Península e islas Baleares, para conocer las áreas donde más se alargará el periodo de crecimiento, puesto que la temperatura media superior a 13°C en esta estación lo permite (representado en color verde).

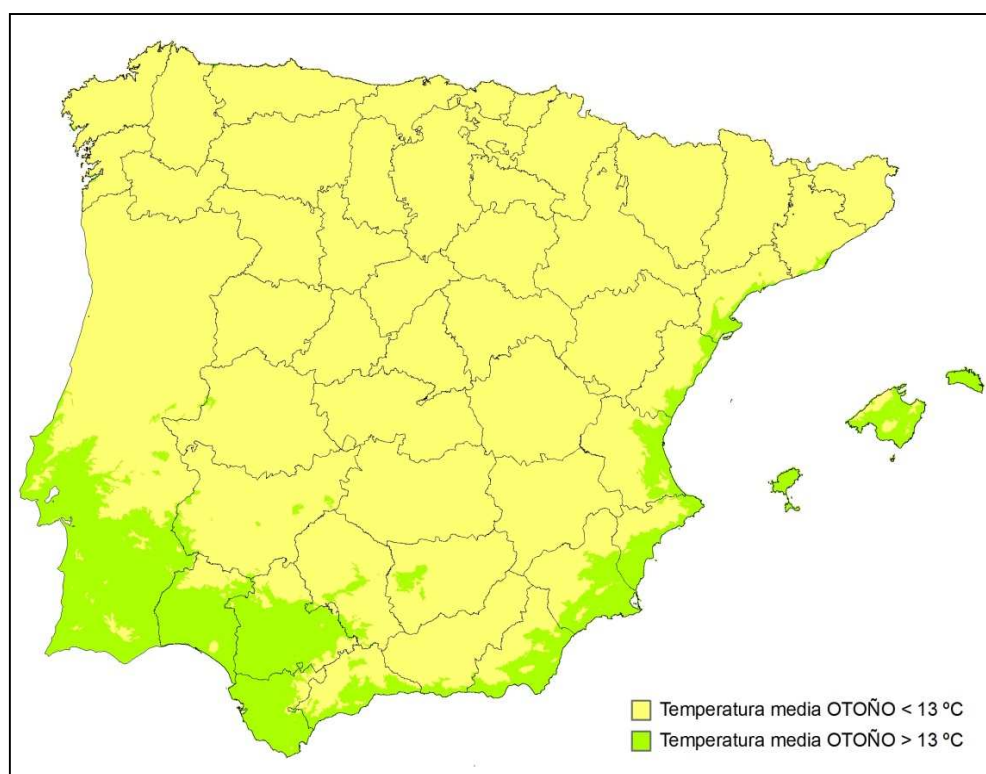


Figura 36 Temperatura media de otoño > 13 °C, en la Península e Islas Baleares.

En la Figura 37, se muestran las regiones de las Islas Canarias donde se alargará más el periodo de crecimiento de la *Moringa oleifera*.

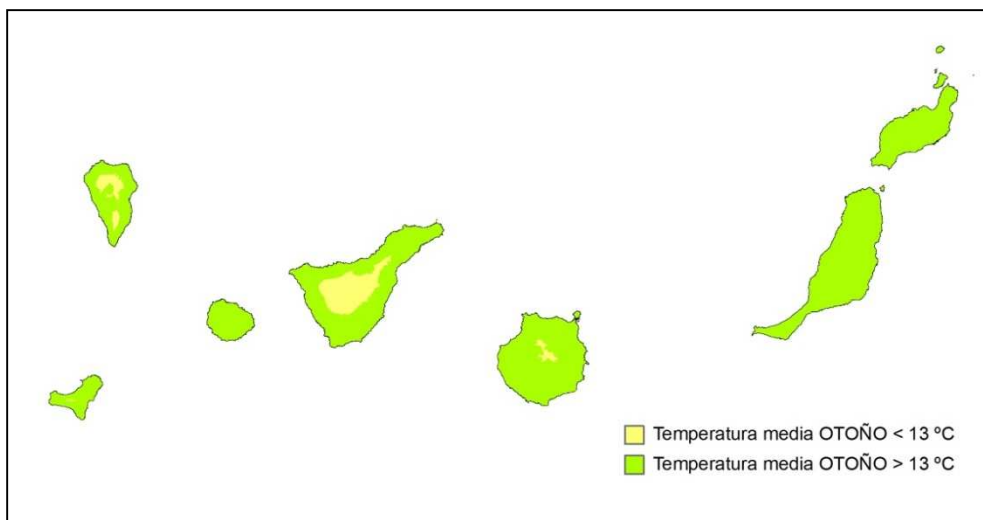


Figura 37: Temperatura media de otoño > 13 °C en las Islas Canarias

En la Figura 38 se calcularon las regiones donde la temperatura media de verano es superior a 13 °C. Tal y como era de esperar, se cumple en todos el territorio Peninsular y Balear (color verde), excepto en los puntos de mayor altitud (color amarillo), por lo se deduce que durante el verano, la especie no detendrá su crecimiento en la mayor parte del territorio.

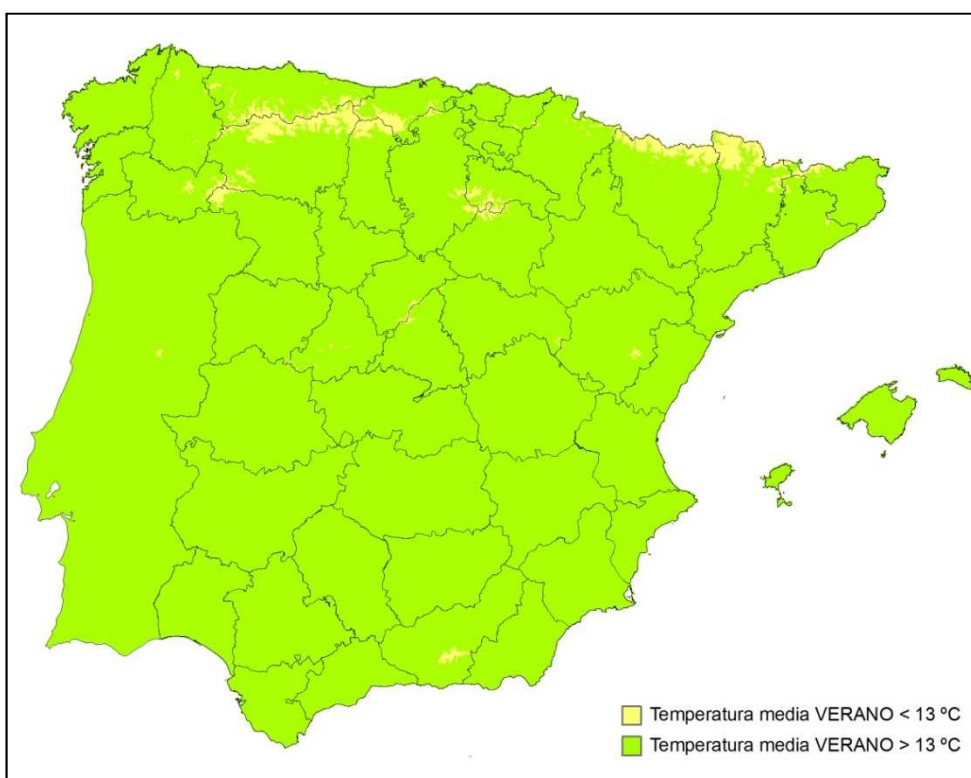


Figura 38: Temperatura media de verano > 13 °C en la Península Ibérica e Islas Baleares

En la Figura 39 se muestran las regiones del archipiélago Canario, donde también se cumplen este condicionante.

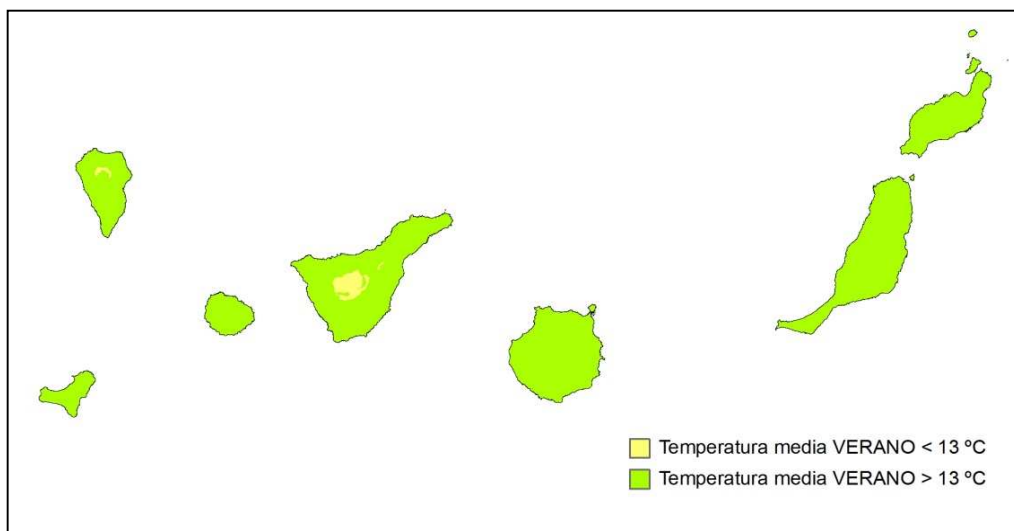


Figura 39: Temperatura media de verano > 13 °C en las Islas Canarias

5.1.1.4. Temperatura media en verano.

Un óptimo crecimiento y alta producción de hojas y vainas de la *Moringa oleífera*, se alcanza cuando la temperatura media diaria oscila entre los 25 °C y los 35 °C.

En la Península, los valores de la temperatura media mensual, alcanzan los valores máximos en verano, sobre todo en los meses de julio y agosto. Los valores más altos (mayores a 27 °C) se dan en las provincias españolas de Cáceres, Badajoz, Toledo, Sevilla, Córdoba y Jaén (AEMet, 2011).

De manera que se va a aplicar el parámetro de temperatura media superior a 25 °C a los meses de junio, julio y agosto, en la Península e Islas Baleares, para conocer las regiones donde la planta logrará una mayor producción y para los meses de julio, agosto y septiembre para las Islas Canarias.

En el archipiélago Canario, las temperaturas medias más elevadas se registran en las zonas situadas a nivel del mar, en la segunda mitad del verano durante los meses de agosto y septiembre, con valores en torno a 24 °C. En las islas más orientales estos valores son ligeramente más altos que en las occidentales. En las zonas elevadas el máximo anual de temperaturas se produce en los meses de julio y agosto (AEMet, 2012).

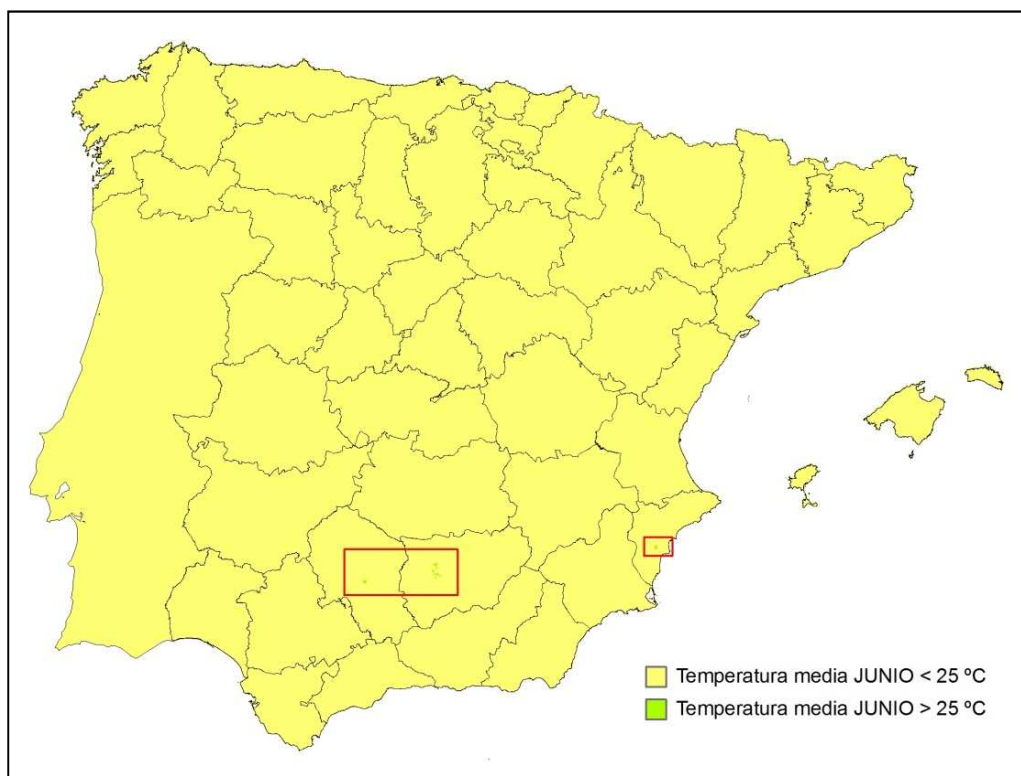


Figura 40: Temperatura media de junio > 25 °C en la Península Ibérica e Islas Baleares

Aplicando el parámetro de temperatura media > 25 °C para el mes de junio se observa, en la Figura 40, que son muy escasas y casi imperceptibles a la escala del mapa (señalas en rojo), las regiones donde se cumple esta variable en la Península y Baleares, lo que reafirma lo anunciado por la AEMet al respecto. Por ello, quedará descartado el mes de junio, para conocer los lugares donde la *Moringa oleifera* alcanza su óptimo de crecimiento.

Si se aplica este parámetro a la temperatura media del mes de julio a la Península e islas Baleares, el resultado se refleja en la Figura 41. La imagen refleja un indiscutible mayor número de puntos donde se alcanza esta variable. Por lo tanto en estas regiones (representadas en color verde), la especie durante el mes de julio aumentará el crecimiento de hojas y vainas.

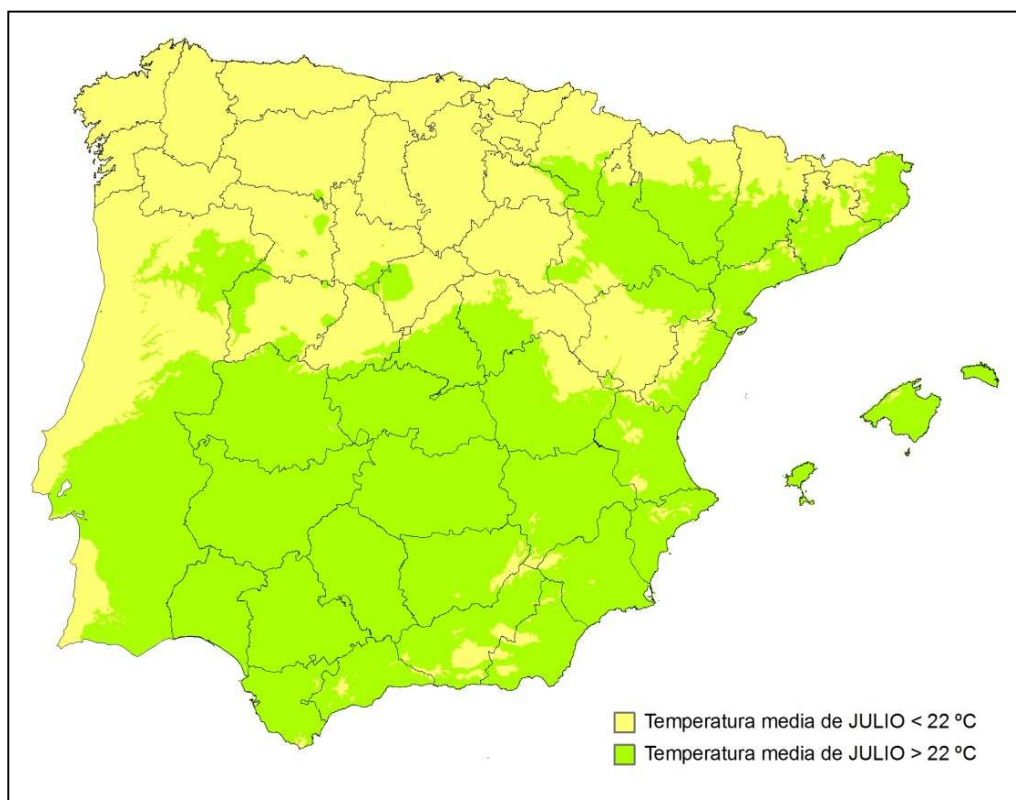


Figura 41: Temperatura media del mes de julio > 25 °C en la Península Ibérica e Islas Baleares

En la Figura 42, se aplica el condicionante de temperatura media del mes de julio superior a 25 °C a las islas Canarias, y de nuevo vuelve a no darse ninguna región donde se cumpla este factor. Lo que se traduce en que a lo largo de este mes la especie crecerá, pero no lo hará en su máximo esplendor.

Por último, se aplica la variable temperatura media superior a 25°C al mes de agosto a la Península y Baleares, representado en la Figura 43 y a las islas Canarias representado en la Figura 44, señalando en rojo las zonas donde se cumple.

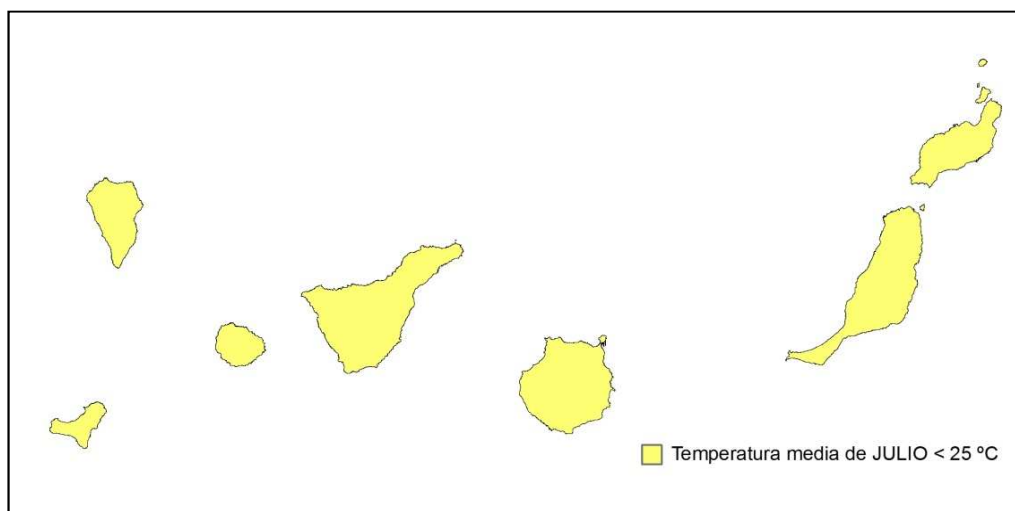


Figura 42: Temperatura media de julio > 25 °C en las Islas Canarias.

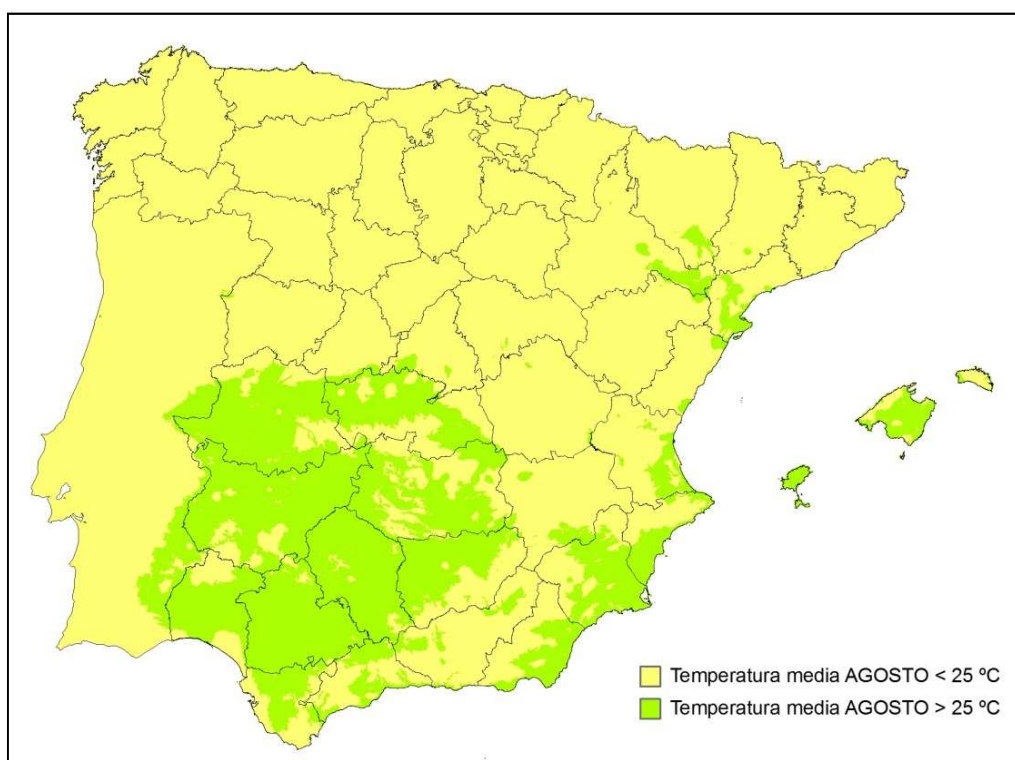


Figura 43: Temperatura media de agosto > 25 °C en la Península Ibérica e Islas Baleares.

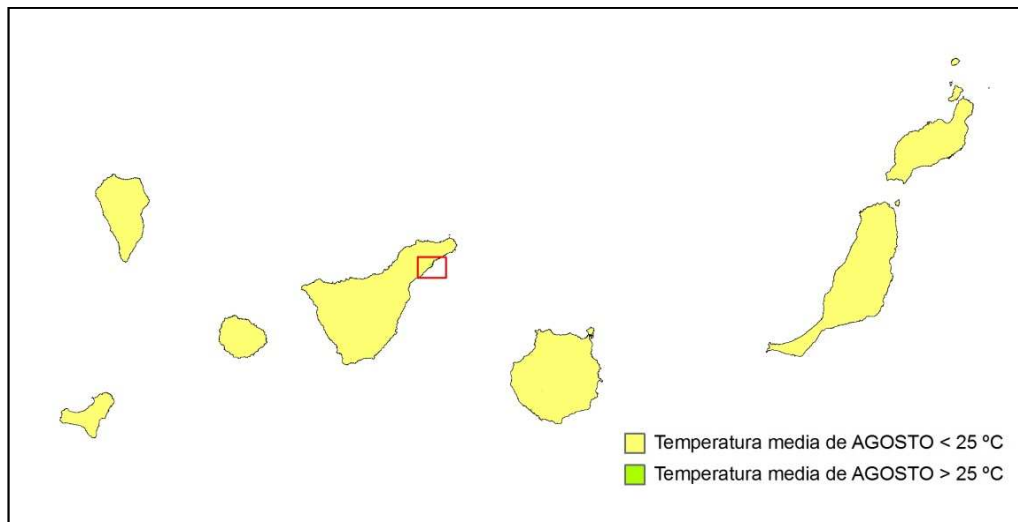


Figura 44: Temperatura media de agosto > 25 °C en las Islas Canarias.

En esta ocasión, aparece una pequeña región al noreste de la isla de Tenerife donde se cumple esta variable.

En los mapas generados de la Península, para el mes de julio y agosto (Figuras 43 y 41, respectivamente), la superficie donde la condición se cumple, es muy semejante. A pesar de ello, a la hora de conocer las zonas donde se alcance el óptimo crecimiento, se superpondrán ambos mapas, pues aunque la superficie varíe escasamente, se obtendrán regiones donde la *Moringa oleifera* crece de manera excelente durante al menos dos meses. Lo cual se puede ver en la Figura 45.

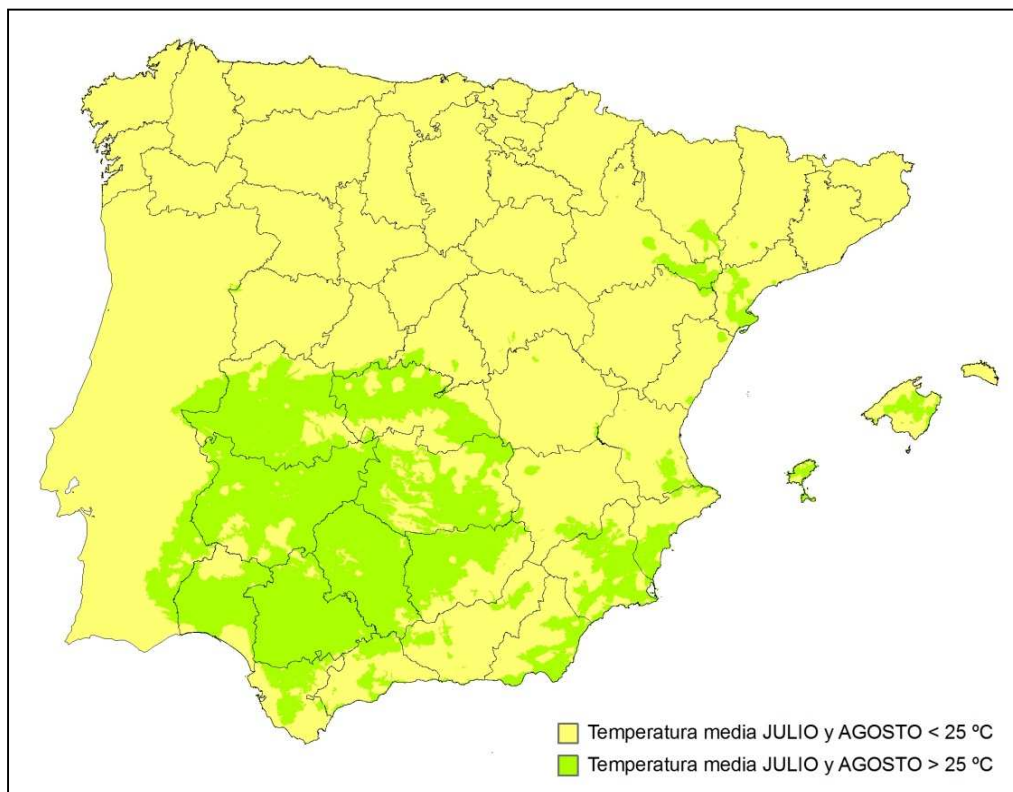


Figura 45: Temperatura media de julio y agosto > 25 °C en la Península Ibérica e Islas Baleares.

La Figura 45, resultante de la superposición de las figuras 41 y 43, será la que se aplicará sobre las zonas que resulten aptas para la introducción de la *Moringa oleifera*. De esta manera, se podrán conocer dentro de las zonas aptas, cuales son las que tendrán una mejor productividad.

Siguiendo lo que afirmaba la AEMet (2012), que en las Islas Canarias las zonas situadas a nivel del mar registran temperaturas máximas también durante el mes de septiembre, en la Figura 46, se aplica este factor al mes de septiembre al archipiélago. Se observa que a pesar de alcanzarse las máximas temperaturas en las zonas de mayor altitud, éstas no superan los 25 °C.

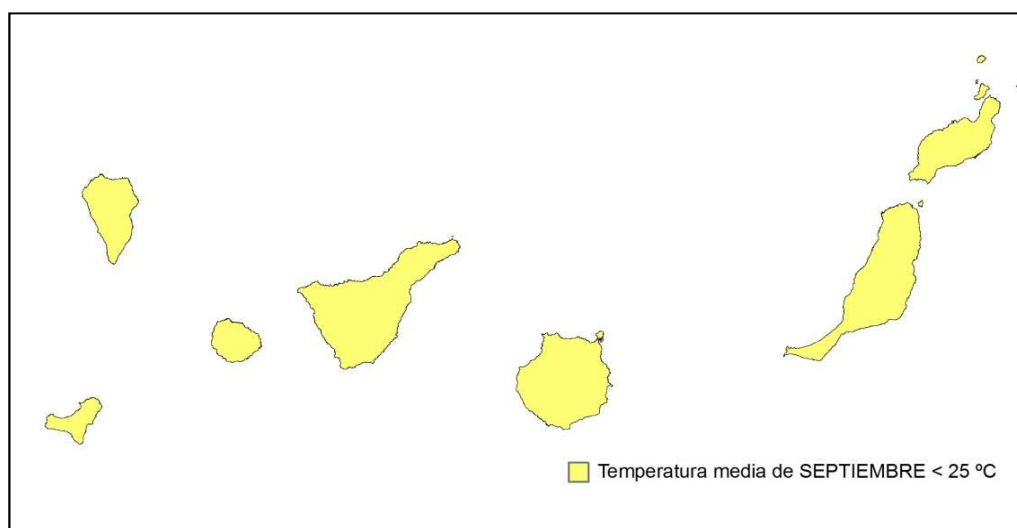


Figura 46: Temperatura media de septiembre > 25 °C en las Islas Canarias.

5.1.1.5. Clima de la región de origen.

En la región de origen de la *Moringa oleifera*, el tipo de clima donde crece la planta según la Clasificación de Köppen es Cfa. Se consideró interesante aplicar al estudio esta variable, tal y como se argumenta en los Capítulos 3 y 4.

Según la AEMet (2011), el tipo de clima Cfa, se pone de manifiesto el noreste de la Península, en una franja de altitud media que rodea los Pirineos y el Sistema Ibérico. Otros autores, hablan de "Cfa" como el clima mediterráneo o suavizado catalán, ubicándolo en la región de Gerona (Sitio web 26).

Para conocer en detalle las variables que caracterizan este clima, y las regiones donde se cumplen del territorio español, se ha procedido a aplicar de forma independiente cada uno de ellas y posteriormente, superponer los mapas que la definen para ubicar el clima "Cfa".

En la Figura 47, se localizaron las zonas de Península Ibérica y Baleares, donde se daba una temperatura media del mes más frío (enero) comprendida entre los 0 °C y los 18 °C (letra C). Tal y como muestra la figura, esta variable

se cumple en la mayor parte del territorio (color verde), excepto en las áreas de mayor altitud de España y Portugal.

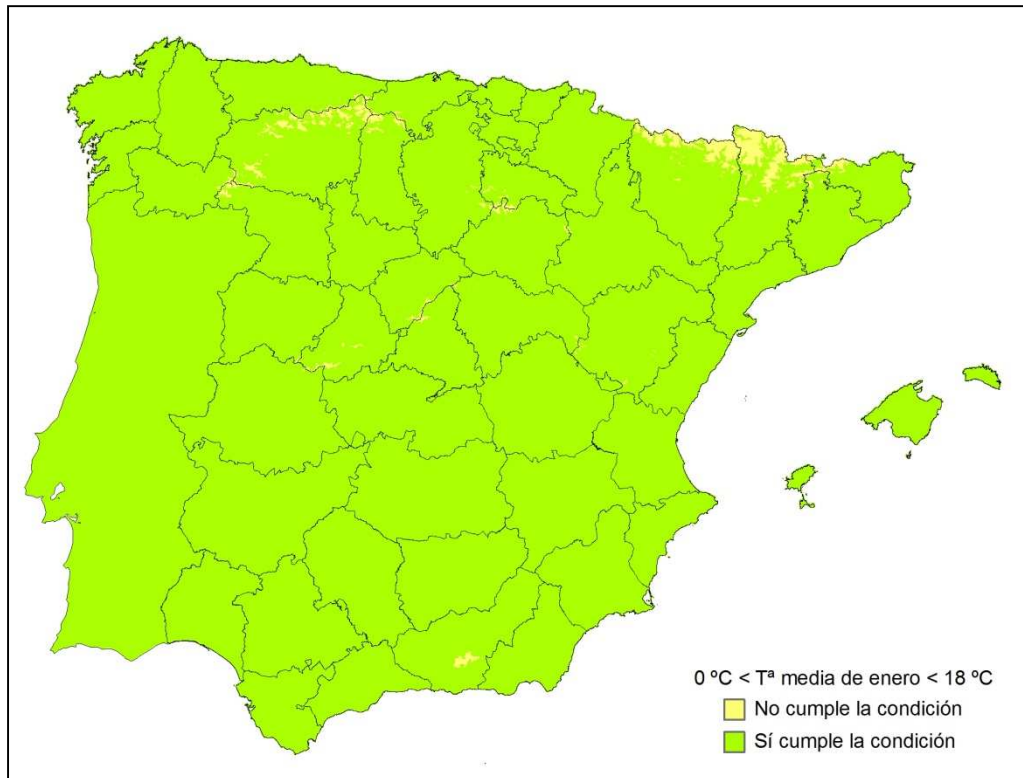


Figura 47: Temperatura media del mes más frío (enero) oscila entre los 0 °C y los 18 °C en la Península e Islas Baleares.

En la Figura 48, se visualizan las zonas donde las temperaturas medias del mes más cálido, que es julio en la Península y Baleares, son superiores a 22 °C (letra a), representadas en color verde. La mayor parte de la meseta Septentrional, Galicia, Cordillera Cantábrica, Pirineos, Sistema Ibérico y zonas altas de la Sierras Béticas, no alcanzan esta temperatura en el mes de julio, por lo que aparecen representadas en color amarillo.

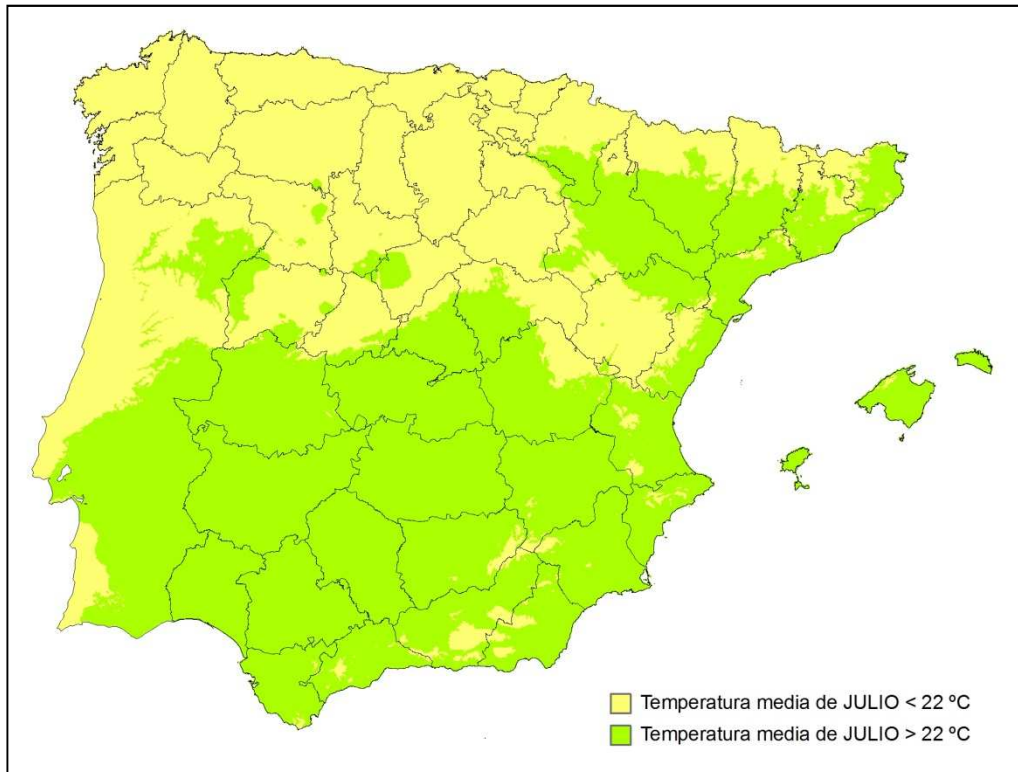


Figura 48: Temperatura media del mes más cálido (julio) > 22 °C en la Península e Islas Baleares.

Por último, se aplica la variable de ausencia de sequía estival (letra f), considerando que la precipitación media del mes más seco ha de ser superior a 30 mm. El mes más seco en la Península es julio, donde los valores más elevados se registran en las áreas de mayor altitud del norte de Cataluña y Navarra, y en algunas áreas del País Vasco; mientras que los valores más bajos, con valores medios mensuales inferiores a 5 mm, se registran en el sur de la Península en concreto en Andalucía, sur de Extremadura, Murcia, sur de Valencia, Baixo Algarve y Algarve (AEMet, 2011).

En la Figura 49, se muestran las regiones de la Península, donde la precipitación del mes de julio, supera los 30 mm (en color verde).

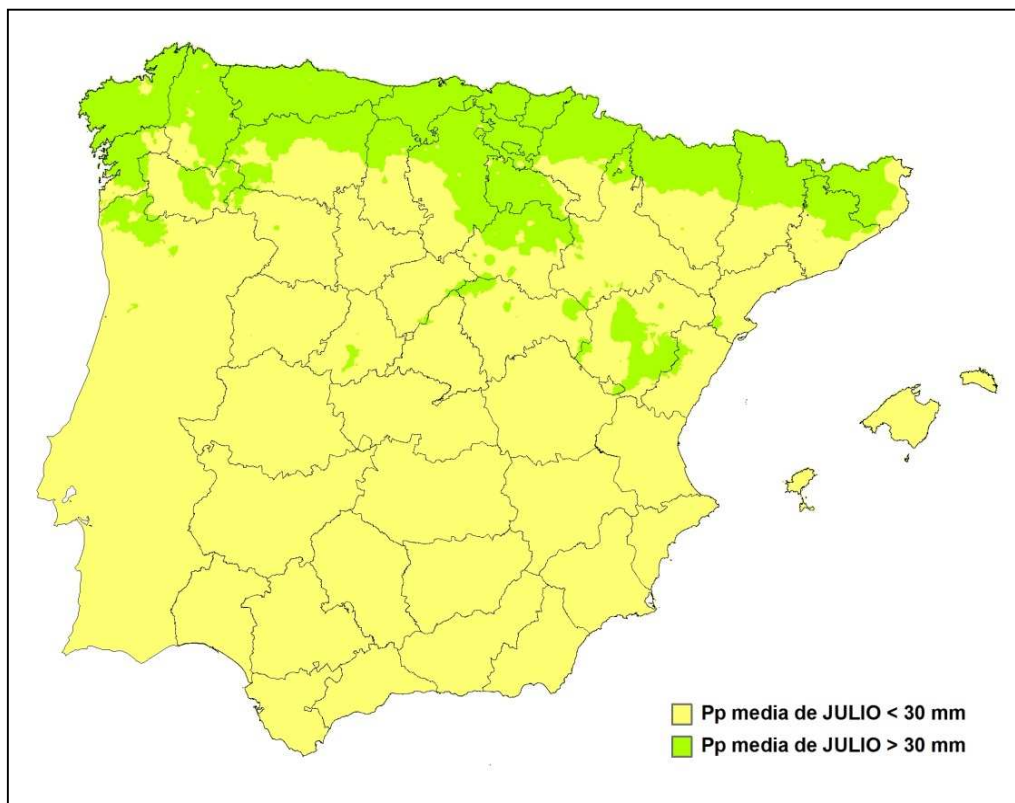


Figura 49: Precipitación media del mes más seco (julio) > 30 mm en la Península e Islas Baleares.

En la Figura 50, se procede a superponer los mapas de las tres variables que definen el clima “Cfa” (Temperatura media del mes más frío (enero) oscila entre los 0 °C y los 18 °C, Temperatura media del mes más cálido (julio) > 22 °C y Precipitación media del mes más seco (julio) > 30 mm). Se observa que este clima se da en las regiones que anunciaban la AEMet y el Sitio web 26.

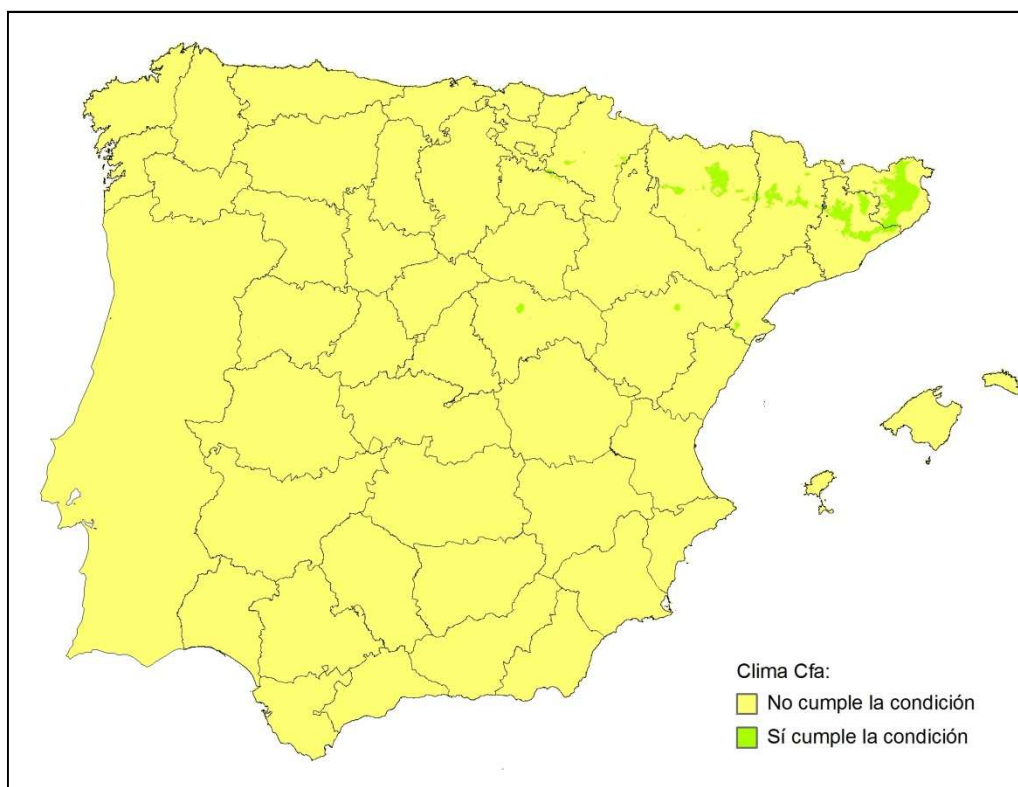


Figura 50: Clima “Cfa” de la Clasificación de Köppen en la Península e Islas Baleares.

Si se analizan las Figuras 47, 48 y 49, que definen este clima. De las tres variables las más restrictivas en cuanto a superficie de la Península donde no se cumple ese condicionante, son la temperatura media de julio y la precipitación del mes más seco, (Figuras 48 y 49), y principalmente la segunda. Es evidente que la variable temperatura no se puede modificar para en el cultivo de planta, en cambio la variable de precipitación, podría solventarse implantando un sistema de riego. Por ello, en la Figura 51, se muestran las temperaturas que definen el clima Cfa, zonificadas en la Península y Baleares.

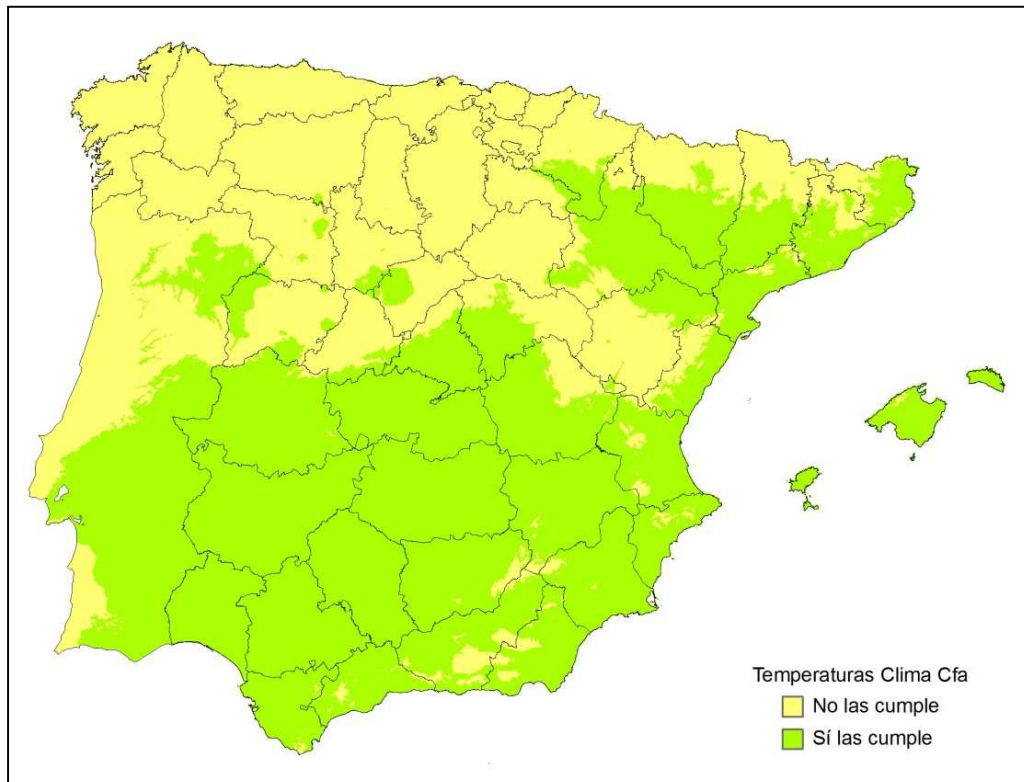


Figura 51: Zonas de clima compatible con “C” y “a” de la Clasificación de Köppen en la Península e Islas Baleares.

La Figura 51, resulta de la superposición de las Figuras 47 y 48, para obtener las regiones de la Península y Baleares, donde la variable temperatura es similar a la región de origen de la *Moringa oleifera*. Por lo tanto, se puede decir que es la variable de la precipitación (ausencia de sequía estival, Figura 49), la que al superponerse a la figura 51, hace que en la Península no se dé este tipo de clima.

A continuación, se repite el procedimiento empleado para determinar el tipo de clima Cfa en la Península y Baleares, pero aplicado a las islas Canarias. Donde se sabe de antemano, que el tipo de clima Cfa de la Clasificación Climática de Köppen, tampoco se manifiesta.

En la Figura 52, se muestra el resultado de aplicar el factor limitante que restringe el valor de la temperatura media del mes más frío, haciendo que

oscile entre 0 °C y 18 °C. Se observa que en parámetro a penas resulta restrictivo, puesto que se cumple en la mayor parte de territorio Canario, excepto en las zonas de mayor altitud de Tenerife donde se descarta por tener temperaturas inferiores a 0 °C y la zona costera de la isla donde se descarta por tener temperatura superior a 18 °C; y la costa sur de las islas de Gran Canaria y La Gomera, y costa este de la isla de El Hierro, donde se descarta por temperatura superior a 18 °C.

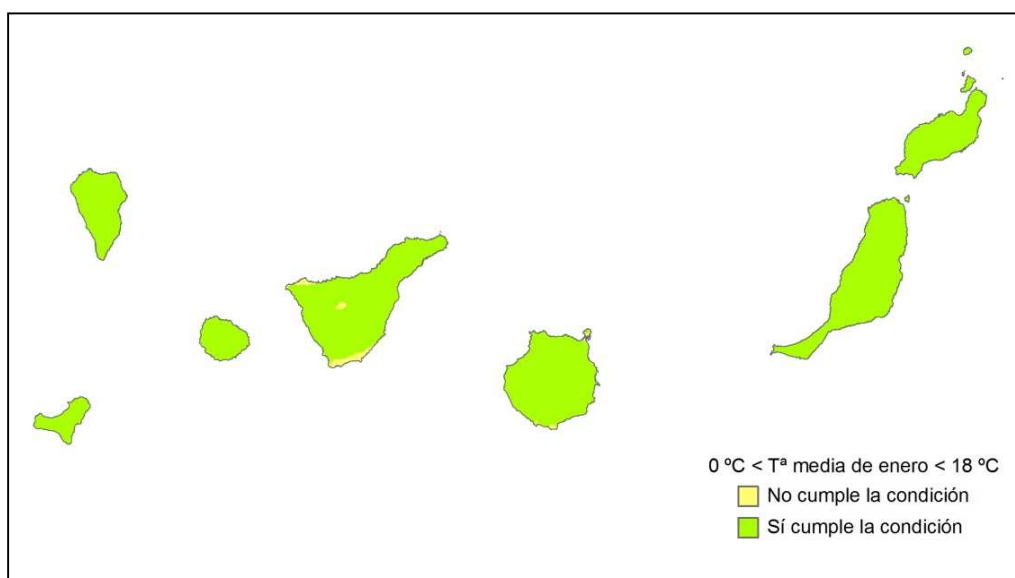


Figura 52: Temperatura media del mes más frío (enero) oscila entre los 0 °C y los 18 °C en las Islas Canarias.

En la Figura 53, se localizan las zonas donde las temperaturas medias del mes más cálido, son superiores a 22 °C (letra a). Se aplicará este parámetro al mes de agosto, ya que según la AEMet (2012), las temperaturas medias mensuales más altas en las zonas a nivel del mar se registran en agosto y septiembre, mientras que en las zonas elevadas se producen julio y agosto. De manera que, para simplificar, se aplicará al mes de agosto.

Este parámetro, sí que condiciona más la posible introducción de la especie, sobre todo en zonas de interior de las islas más occidentales y en las regiones de mayor altitud de Tenerife.

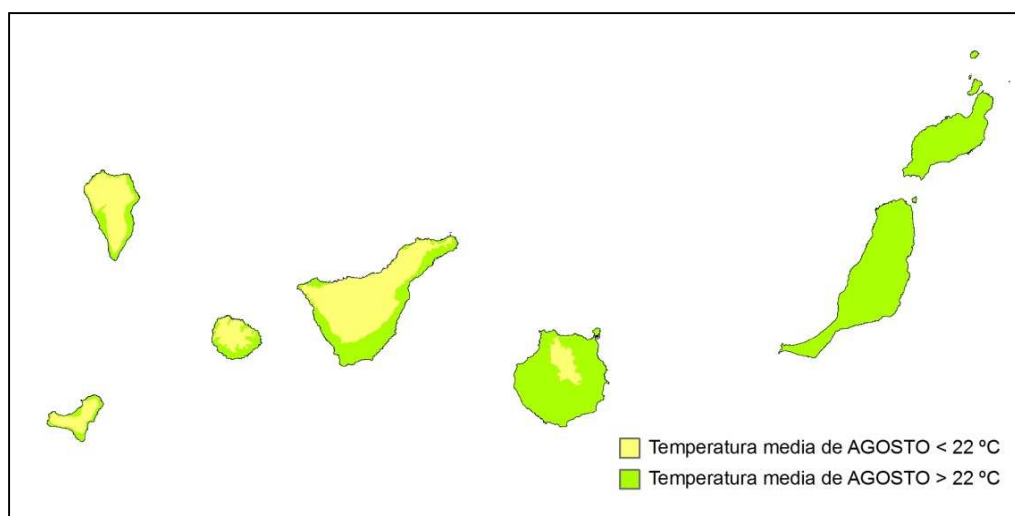


Figura 53: Temperatura media del mes más cálido (agosto) > 22 °C en las Islas Canarias.

Y por último se aplica en factor de la sequía estival. En la Figura 54 se muestran las regiones donde la precipitación en el mes más seco (julio), es superior a 30 mm.

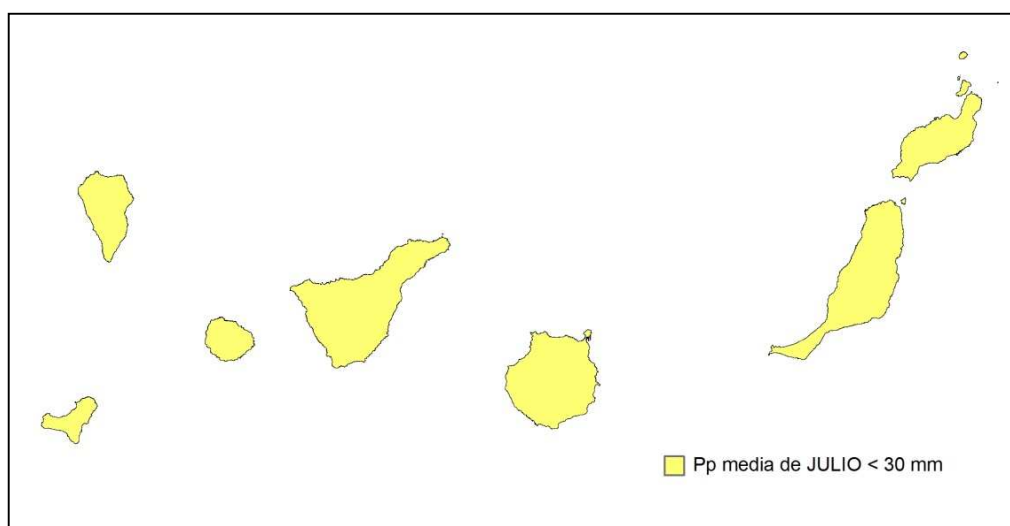


Figura 54: Precipitación media del mes más seco (julio) > 30 mm en las Islas Canarias.

El factor de ausencia de sequía estival es sin lugar a duda, es el que limita la presencia del tipo de clima Cfa, puesto que en todas y cada una de las islas, este parámetro no se alcanza en el mes más seco. De manera que, al igual que en el caso de la Península y Baleares, se van a superponer los mapas de temperatura media del mes más frío oscile entre los 0 °C y los 18 °C, y el mapa de temperatura media del mes más cálido superior a 22 °C (Figuras 52 y 53, respectivamente), para conocer los lugares donde se cumplen las temperatura características del clima de origen de la especie. Se muestra en la Figura 55.

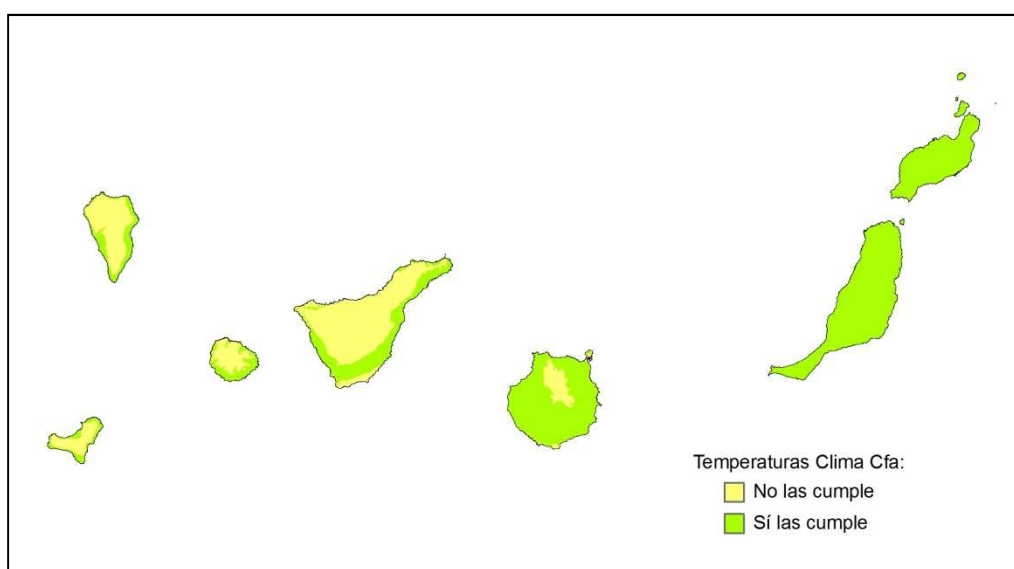


Figura 55: Zonas de clima compatible con "C" y "a" de la Clasificación de Köppen en las Islas Baleares.

5.1.2. Precipitación.

Tal y como ya se ha mencionado, para la realización del estudio de potenciales zonas de introducción de la *Moringa oleifera* se van a aplicar los valores que resulten más restrictivos para la especie.

Sabiendo que es una especie tolerante a la sequía, con un rango de precipitación media anual bastante amplio, desde los (300) 500 mm hasta los 1.500 (2.250) mm, se delimitarán las regiones del territorio de la Península,

Islas Baleares e Islas Canarias, donde se cumplen estos requisitos de precipitación.

Al ser valores extremos, se consideran “factores excluyentes” la precipitación anual inferior a 300 mm, en caso de que no se disponga de sistema de riego; y la precipitación media anual superior a los 2.250 mm. Se considerarán “factores idóneos” cuando la precipitación oscile entre los 500 mm y los 1.500 mm, que son aquellos donde la planta se desarrolla favorablemente; serán “factores limitantes”, cuando la precipitación oscile entre intervalos 300 - 500 mm y los 1.500 – 2.250 mm, ya que pueden ser más o menos beneficiosos para la especie, pero no causan su muerte.

La distribución geográfica de la precipitación media anual en la Península e Islas Baleares es muy variada. Los valores más altos, superiores a los 2.200 mm, se registran en las áreas montañosas del noroeste de Portugal Continental (Serra do Gerês), en el noroeste de Navarra y en algunas áreas del sudoeste de Galicia próximas a las “Rías Bajas”. En cambio, Los valores más bajos se registran en el sureste de España, en las provincias de Almería y Murcia, en el sur de Alicante, con precipitación media anual inferior a 300 mm. En las zonas próximas al cabo de Gata (España) la precipitación es todavía más baja, inferior a 200 mm (AEMet, 2011). En la Figura 56, se observa la distribución de la precipitación media anual en la Península e Islas Baleares comentada.

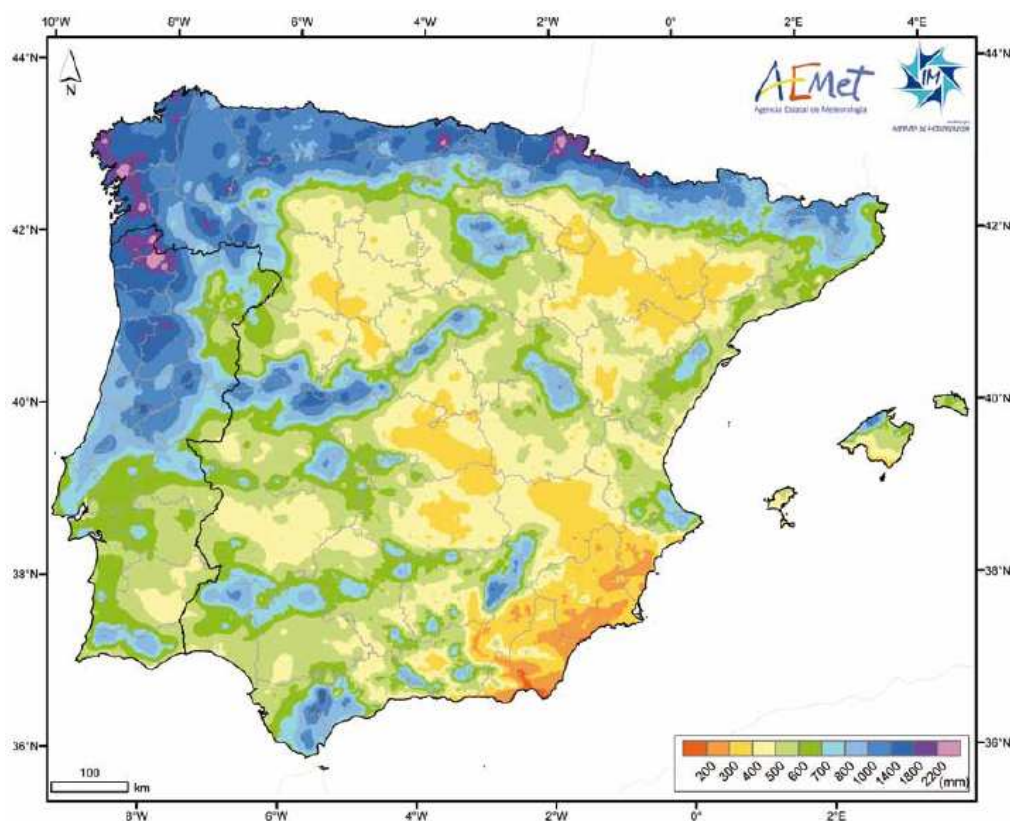


Figura 56: Precipitación media anual de la Península Ibérica e Islas Baleares.
Fuente: AEMet, 2011.

La distribución de la precipitación media anual en el archipiélago canario es muy desigual, marcada principalmente por la influencia de los vientos alisios y la altitud sobre el nivel del mar. Los valores más altos, por encima de los 1.000 mm, se registran en las zonas más altas de la isla de La Palma, mientras que los valores más bajos, inferiores a 100 mm, se sitúan en las islas de Tenerife y Gran Canaria (AEMet, 2012). En la Figura 57, se representa esta información.

La información acerca de la precipitación en las Islas Canarias facilitada por la AEMet, no registra la precipitación horizontal aportada por el mar de nubes causado por los vientos alisios. De manera que este aporte hídrico característico de las Islas Canarias, y que tanto condiciona su vegetación, no se tiene en cuenta para la realización del estudio. Por ello, a la hora de llevar a

cabo la introducción de la *Moringa oleifera* en las zonas donde sea posible, habrá que tener en cuenta esta variable.

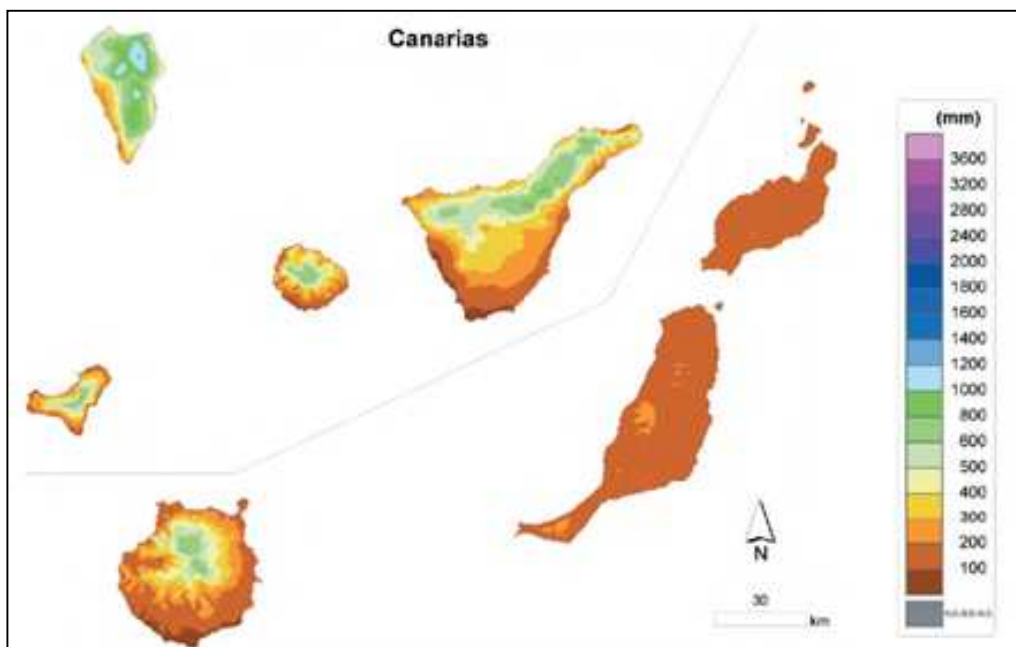


Figura 57: Precipitación media anual de las Islas Canarias. Fuente: AEMet, 2012.

Puesto que se van a aplicar los “factores limitantes”, “excluyentes” e “idóneos” de precipitación sobre la precipitación media anual, se va a presentar un único mapa donde se representen dichos valores. A continuación se detalla cada uno de estos parámetros, para finalmente en la Figura 58 mostrar el resultado para la Península Ibérica e Islas Baleares, y en la Figura 59 para el archipiélago Canario.

5.1.2.1. Pp media anual < 300 mm.

En las regiones de la Península y Baleares, donde se cumple “factor excluyente” de precipitación anual inferior a 300 mm, no será posible la introducción de la *Moringa oleifera*, pues no recibe la cantidad de agua suficiente para sobrevivir.

Este factor excluyente se cumple en parte de las provincias de Almería, Murcia y Alicante; por lo que, en principio, la especie no va a poder sobrevivir de forma natural en estas regiones, aunque sí sería posible su introducción en caso de implantar un sistema de riego. De esta manera, al aportarle a la *Moringa oleifera* el agua que necesita para su supervivencia, esta podría desarrollarse. Por lo tanto se puede deducir, que las zonas donde la precipitación media anual sea inferior a 300 mm, podrá introducirse la *Moringa oleifera* con riego obligatorio.

Se ha repetido el proceso para las Islas Canarias. Destaca la evidente necesidad de riego en las islas más orientales, Lanzarote y Fuerteventura, pues en toda su superficie el aporte hídrico es inferior a 300 mm; gran parte de Gran Canaria (las zonas más altas son las únicas donde no será necesario el riego); y la zona costera de El Hierro y sur de Tenerife y La Gomera, donde también será obligatorio el riego.

5.1.2.2. 300 mm < Pp media anual < 500 mm.

En las regiones cuya precipitación anual oscila entre los 300 mm y los 500 mm, al ser superior al factor excluyente 300 mm no será imprescindible el uso de un sistema de riego, pero al ser inferior a los 500 mm, precipitación a partir de la cual en principio la especie no tiene problemas hídricos, cabe la posibilidad de sea preciso el aporte de agua. Por lo que para tratar de garantizar la introducción de la *Moringa oleifera* en las regiones donde se cumple este requisito, quizás sea probable la utilización de un sistema de riego, al menos durante los primeros años de crecimiento de la especie.

5.1.2.3. 500 mm < Pp media anual < 1.500 mm.

Se repite el mismo procedimiento para la condición limitante de que la precipitación media anual debe oscilar entre los 500 mm y los 1.500 mm.

Según la literatura, la *Moringa oleifera* crece bien (sin problemas de exceso o déficit de aporte hídrico) en este rango de precipitación. Además, añade que precipitaciones superiores a 1.500 mm pueden provocar una disminución de la producción, golpeando las flores y frutos haciéndoles caer.

Por ello, a las áreas donde la precipitación oscile en este intervalo, se llamarán zonas aptas en cuanto a precipitación.

5.1.2.4. 1.500 mm < Pp media anual < 2.250 mm.

Por encima de los 1.500 mm de precipitación existe riesgo de que la lluvia dañe las flores y los frutos cuando estos son jóvenes, factor que limita la producción de semillas.

En las regiones donde la precipitación media anual varíe entre los 1.500 mm y 2.250 mm, la *Moringa oleifera* podrá crecer, a pesar de no ser muy habitual su presencia en lugares con esta precipitación según señala la literatura. Además, dada la sensibilidad de la planta a los suelos encharcados, habrá que tener especial cuidado a la hora de introducirla en estos lugares.

5.1.2.5. Pp media anual > 2.250 mm.

También se ha de tener en cuenta el otro factor excluyente de precipitación, la precipitación anual superior a 2.250 mm.

Por lo que se emplea la condición de que cualquier punto del territorio cuya precipitación media anual supere los 2.250 mm, quedará excluido de ser posible zona de introducción de la *Moringa oleifera*. El resultado refleja lo que ya advertía la AEMet, que valores tan altos de precipitación se encuentran en el noroeste de Navarra y en algunas áreas del sudoeste de Galicia próximas a las “Rías Bajas”, en España; las áreas montañosas del noroeste de Portugal Continental (Serra do Gerês). De manera que, estas regiones (representadas

en amarillo) quedan descartadas de ser potenciales de introducción de la especie.

5.1.2.6. Intervalos de precipitación media anual.

En la Figura 58 y 59, se muestra la distribución de la precipitación media anual de la Península Ibérica e Islas Baleares, respectivamente, después de haber aplicado los intervalos que condicionan a la *Moringa oleífera*.

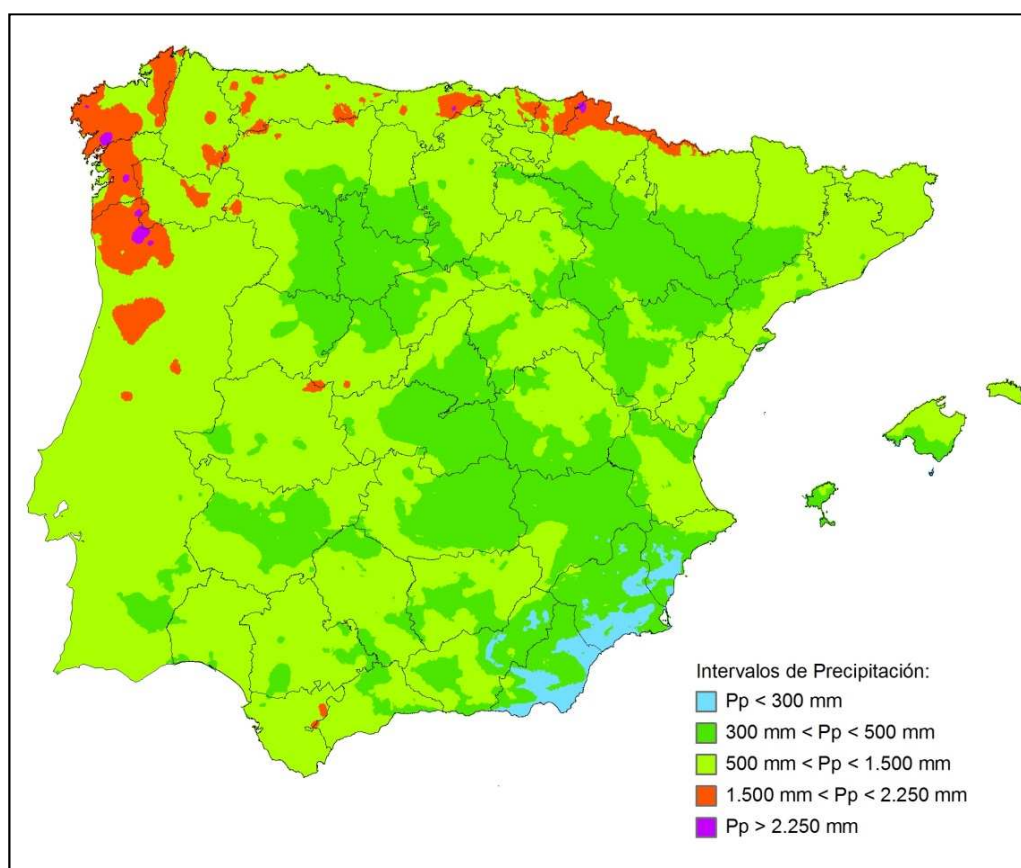


Figura 58: Intervalos de precipitación media anual en la Península Ibérica e Islas Baleares.

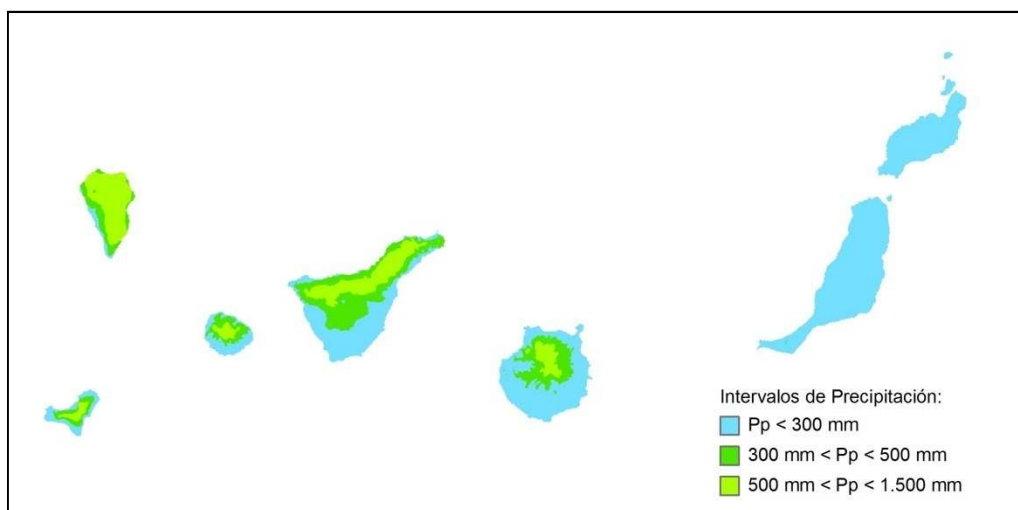


Figura 59: Intervalos de precipitación media anual en las Islas Canarias.

5.2. POTENCIALES ÁREAS DE INTRODUCCIÓN DE LA *Moringa oleifera* EN LA PENÍNSULA IBÉRICA, ISLAS BALEARES E ISLAS CANARIAS.

Tras haber estudiado cada uno de los parámetros climáticos y fisiográficos que condicionan la distribución de la *Moringa oleifera*, se ha conocido como se disponen cada uno de ellos sobre el territorio Peninsular, Balear y Canario.

La superposición de los mapas resultantes de aplicar las variables seleccionadas, permitirá establecer las áreas de posible introducción de la *Moringa oleifera*.

La superposición de mapas se llevará a cabo utilizando, tal y como se explicó en el Capítulo III, Metodología, el operador aritmético multiplicación (*).

Para el conjunto de todos los parámetros considerados, se establecen, siempre desde el punto de vista fisiográfico y climático, como **hábitats aptos o zonas aptas** para la introducción de la especie, a aquellos biotopos en los que se cumplan todos los parámetros que se han seleccionado como condicionantes de la distribución de la especie. Los biotopos donde uno o más parámetros no se cumplan, es decir si alguno de los parámetros se sitúa fuera de los límites establecidos será **hábitat extramarginal o zona no apta** para la introducción de la especie. Y aquellos biotopos donde todos y cada uno de los parámetros se cumplen, y además durante los meses más cálidos, la temperatura media supera los 25 °C, **serán hábitats óptimos o zonas óptimas** para la introducción de la especie, ya que este valor hace que aumente considerablemente el crecimiento de la especie, por lo que resulta muy interesante si su finalidad es la producción de hojas y semillas.

Si existiese más información sobre las necesidades de la planta, sería posible definir “hábitats marginales”, estableciendo los biotopos en los que algunos de los parámetros se sitúan en los tramos marginales se consideran como hábitats marginales, tanto más cuanto mayor sea el número de parámetros en esas condiciones.

5.2.1. Zonas potencialmente aptas para introducción.

Se procede a conocer lo que clasificaremos como ZONAS APTAS para la introducción de la *Moringa oleifera* en la Península, Islas Baleares y Canarias, de manera que, aquellos lugares donde se cumplan todos los requisitos seleccionados (térmicos y pluviométricos), serán aptos para la introducción, y donde no se cumplan uno o más parámetros serán descartados.

Primero se aplicaron los parámetros térmicos que delimitan la distribución de la especie, para localizar las regiones donde se cumplen todos los requisitos térmicos necesarios para un buen desarrollo de la *Moringa oleifera* en la Península, Baleares y Canarias.

Los parámetros térmicos que se aplicaron para conocer las Zonas Aptas fueron: Temperatura media de invierno $> -1^{\circ}\text{C}$, Temperatura media anual $> 13^{\circ}\text{C}$, Temperatura media primavera $> 13^{\circ}\text{C}$ (Figura 4), Temperatura media otoño $> 13^{\circ}\text{C}$, Temperatura media verano $> 13^{\circ}\text{C}$, Zonas de clima compatible con “C” y “a” de la Clasificación de Köppen.

El resultado de la superposición de los parámetros térmicos se muestra en la Figura 60 (Península e Islas Baleares) y en la Figura 61 (islas Canarias). Indicándose en color verde las regiones en las que se cumplen todos los condicionantes y en color amarillo, aquellos lugares donde al menos una de las variables no se cumple. A estas figuras, se les asignará el nombre de zonas aptas en cuanto a temperaturas

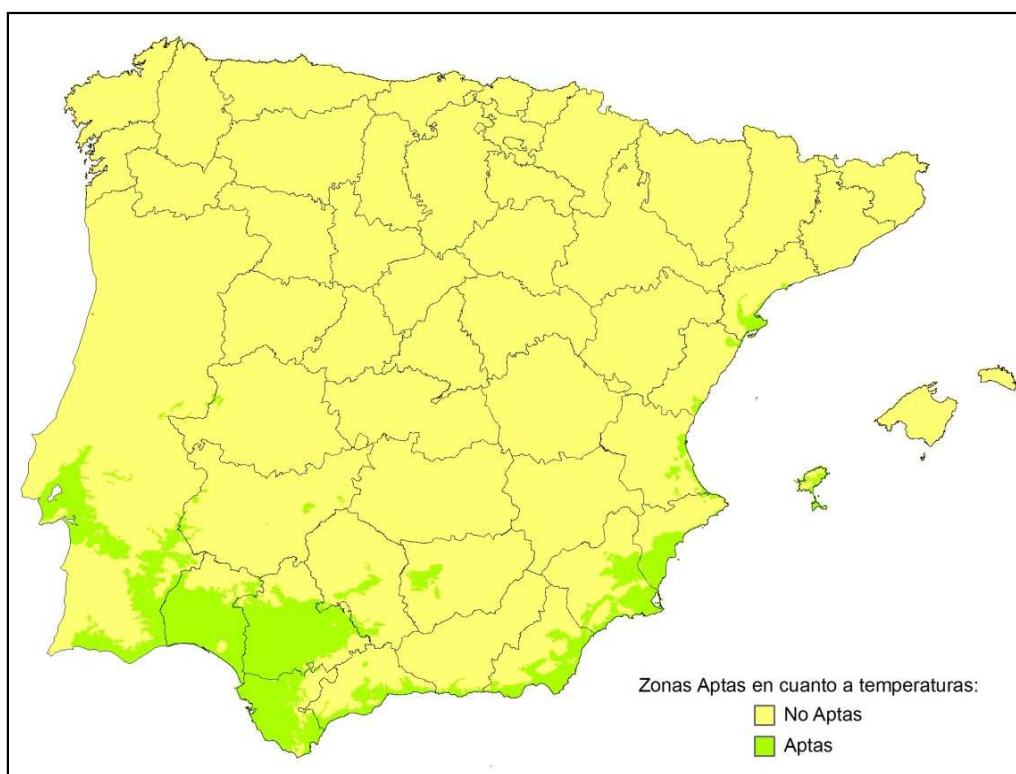


Figura 60: Zonas APTAS en cuanto a temperaturas en la Península Ibérica e Islas Baleares.

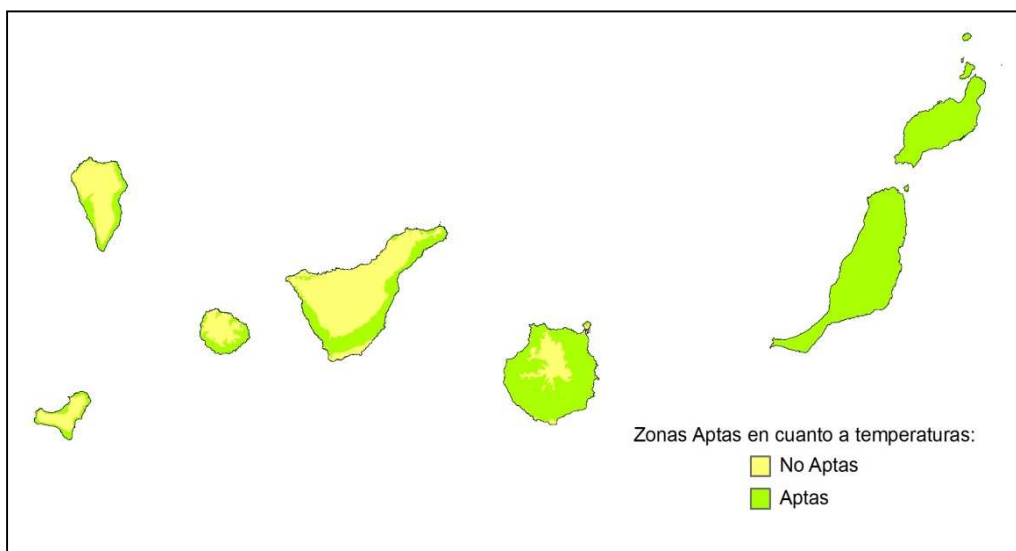


Figura 61: Zonas APTAS en cuanto a temperaturas en las Islas Canarias.

A continuación, se aplicaron los intervalos de precipitación ya estudiados, a los mapas de zonas aptas en cuanto a temperatura. De esta manera, se podrán clasificar las zonas potencialmente aptas en cinco grupos:

- Obligatorio el uso de sistema de riego.
- Probable el uso de un sistema de riego.
- Aptas (donde no van a existir problemas aporte hídrico).
- Posible riesgo por exceso de precipitación.
- No apto por exceso de precipitación.

5.2.1.1. Zonas potencialmente aptas para introducción con obligatorio uso de sistema de riego.

El factor excluyente de la precipitación media anual < 300 mm limita el buen desarrollo de la *Moringa oleífera*, por lo que las regiones donde no se alcance este mínimo de precipitación, se ha de colocar un sistema de riego.

En la Figura 62, se aplica este factor excluyente al mapa de zonas aptas en cuanto a temperatura de la Península y Baleares, de manera que se logra delimitar las zonas aptas donde será preciso aplicar riego, puesto que las temperaturas son las necesarias para un buen desarrollo de la especie y así se cubren las necesidades hídricas mínimas de la planta.

En la Figura 63, aparecen las zonas de la islas Canarias donde si se desea introducir la planta, deberá hacerse utilizando riego.

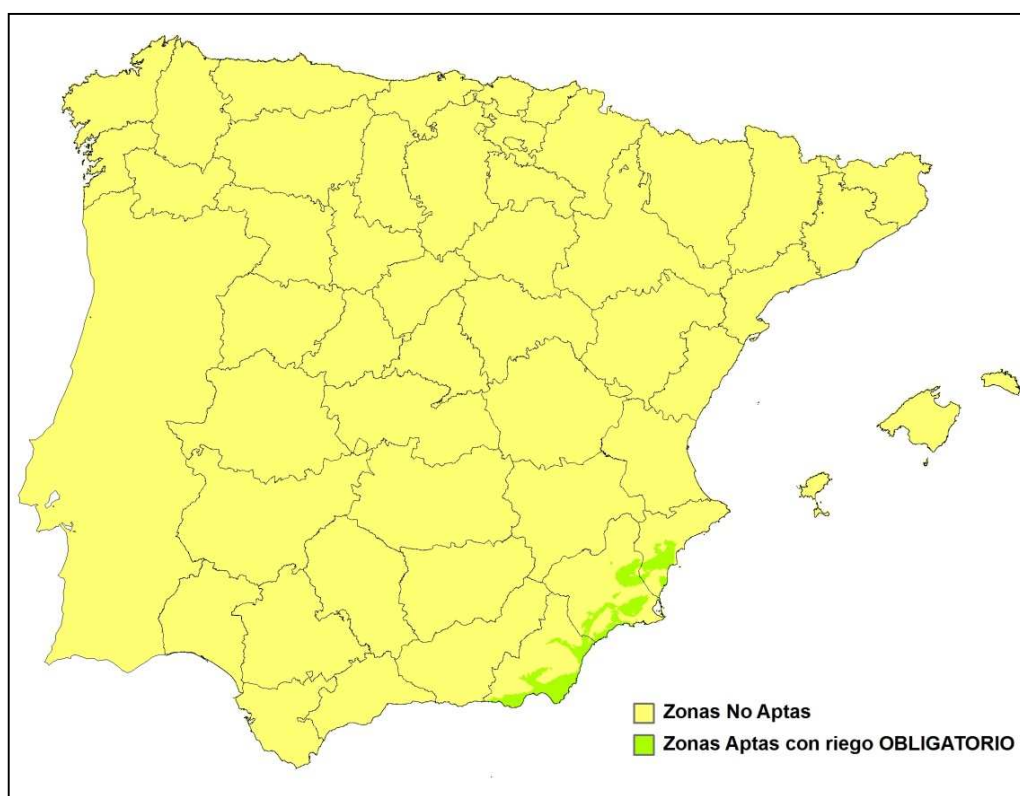


Figura 62: Zonas Potencialmente Aptas con OBLIGATORIO uso de riego en la Península Ibérica e Islas Baleares.

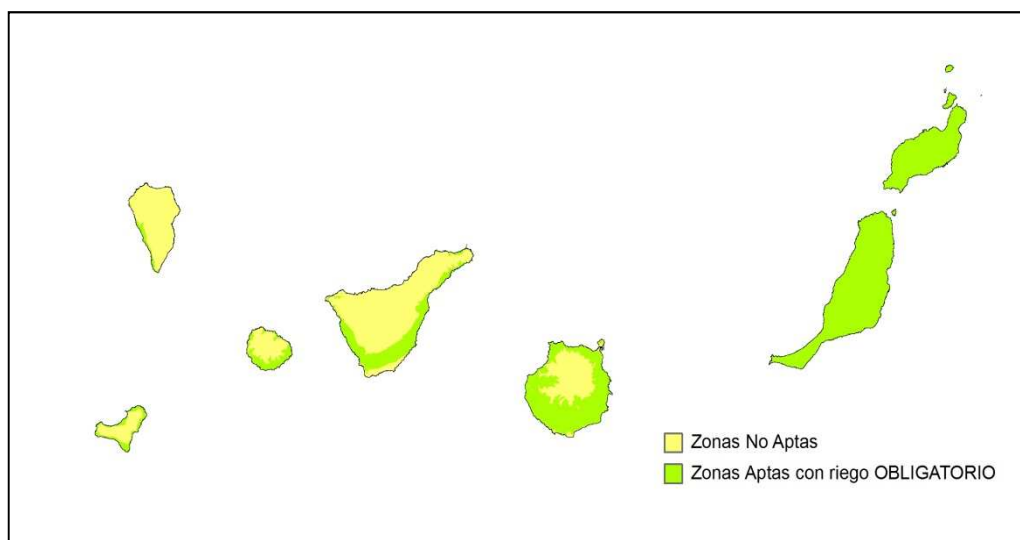


Figura 63: Zonas Potencialmente Aptas con OBLIGATORIO uso de riego en las Islas Canarias.

5.2.1.2. Zonas potencialmente aptas para introducción con probable uso de sistema de riego.

En este caso, se propone conocer las zonas aptas donde la precipitación media anual oscile entre los 300 mm (que es la precipitación mínima necesaria) y los 500 mm (precipitación por encima de la que suele crecer con frecuencia la *Moringa oleifera*).

Para ello, se superponen el mapa de zonas aptas en cuanto a temperatura y el mapa de precipitación fluctuante entre 300 mm y 500 mm. El resultado se muestra en la Figura 64 para la Península y Baleares, y en la Figura 65 para las islas Canarias, donde se representan las áreas en las cuales se podrá introducir la planta siendo probable el uso de riego (en color verde). Para precisar un poco más en este aspecto, cuando se vaya a plantar en un lugar determinado de las regiones señaladas, sería oportuno conocer la precipitación media del lugar, y averiguar si es necesario o no, aportar riego.

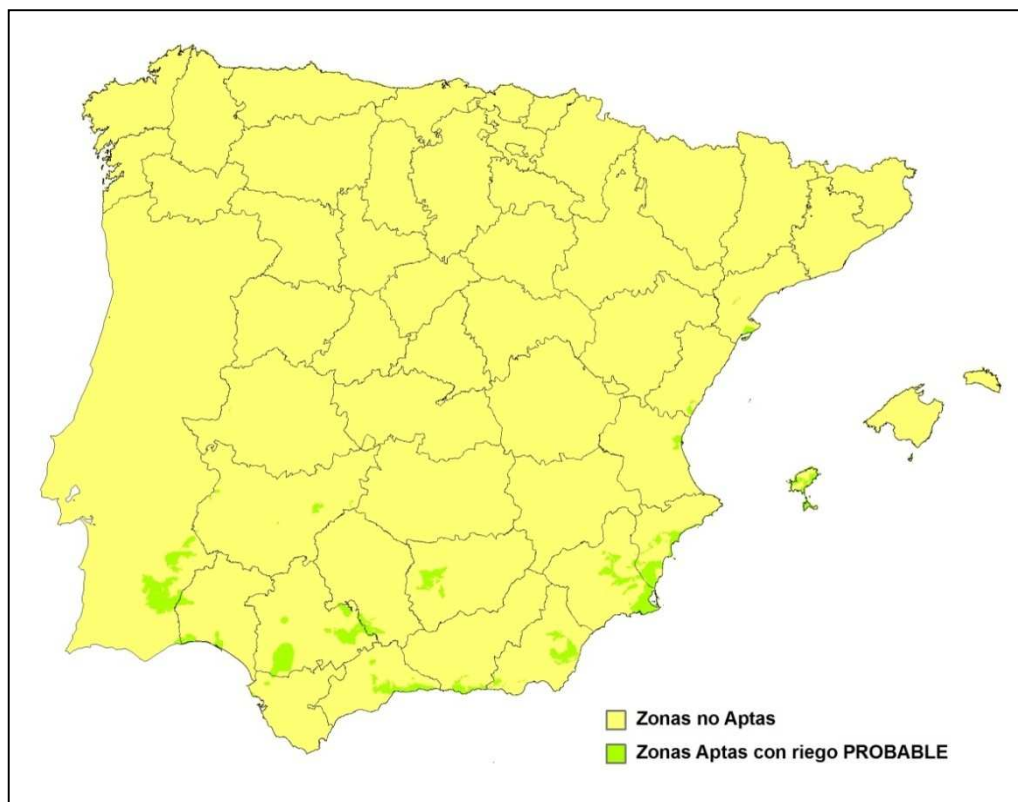


Figura 64: Zonas Potencialmente Aptas con PROBABLE uso de riego en la Península Ibérica e Islas Baleares.

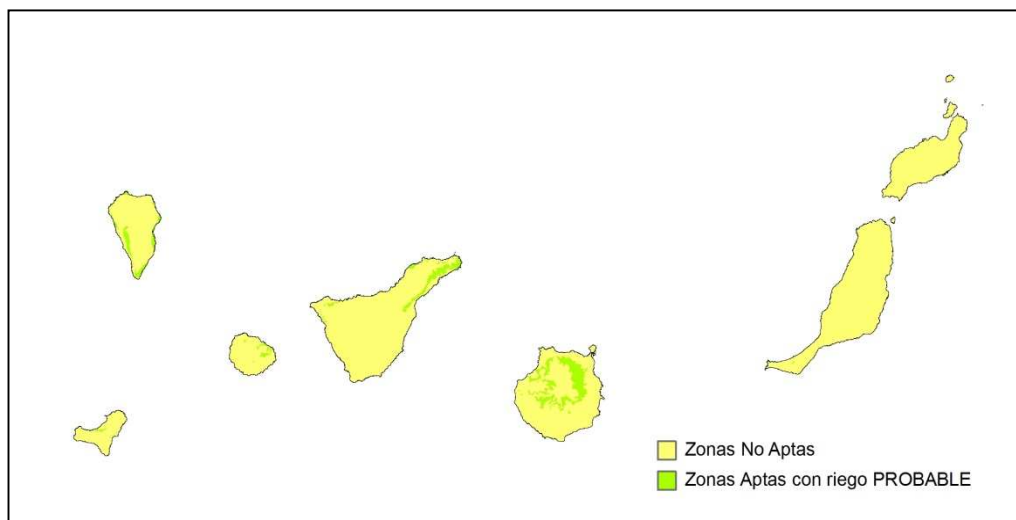


Figura 65: Zonas Potencialmente Aptas con PROBABLE uso de riego en las Islas Canarias.

5.2.1.3. Zonas potencialmente aptas.

Se definen como zonas POTENCIALMENTE APTAS para la introducción, a aquellas regiones aptas en cuanto a temperaturas y donde la precipitación media anual oscile entre 500 mm y los 1.500 mm, ya que en ellas, se cumplen las condiciones térmicas y pluviométricas características de las regiones donde la *Moringa oleifera* crece de forma natural o artificial.

En la Figura 66, se muestran las regiones POTENCIALMENTE APTAS para la introducción de la *Moringa oleifera* en la Península y Baleares, y en la Figura 67 las regiones potencialmente aptas para su introducción en las islas Canarias.

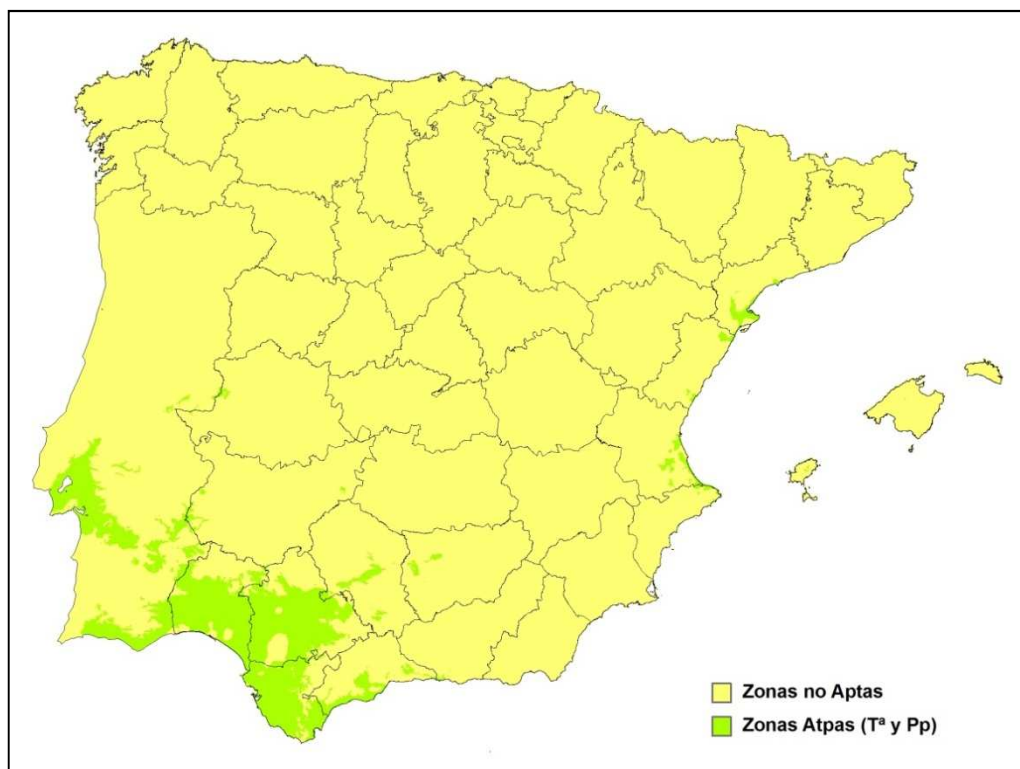


Figura 66: Zonas Potencialmente APTAS para introducción de la *Moringa oleifera* en la Península Ibérica e Islas Baleares.

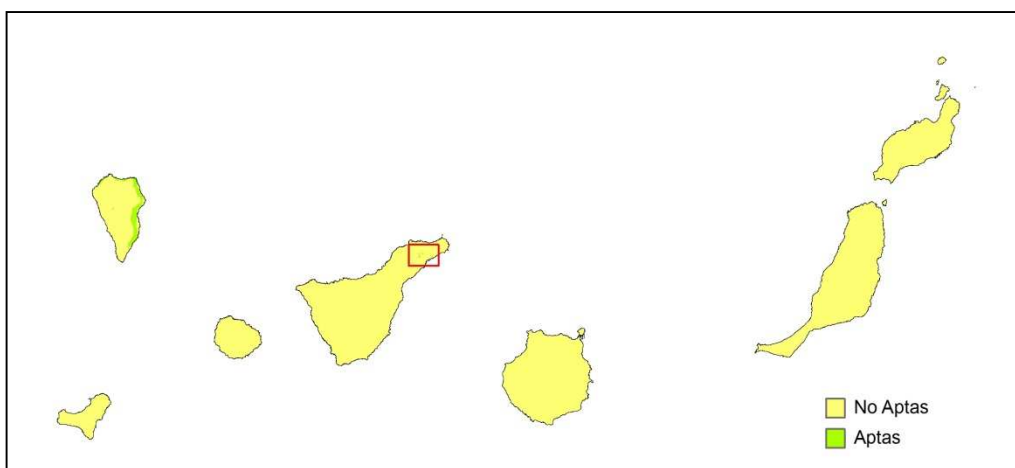


Figura 67: Zonas Potencialmente APTAS para introducción de la *Moringa oleifera* en las Islas Canarias.

5.2.1.4. Zonas aptas con posible riesgo por exceso de precipitación.

Serán aquellas regiones donde se den las condiciones de zonas aptas en cuanto a temperaturas y zonas donde la precipitación oscile entre 1.500 – 2.250 mm. No es habitual encontrarse la planta en este rango de precipitación, aunque algunos autores aseguran que la especie lo tolera. Por ello, se tiene en cuenta este parámetro en el estudio, aunque cabe la posibilidad de que la *Moringa oleífera* no lo tolere al ser especialmente sensible a los suelos encharcados. Así que a estas regiones, representas en verde, en la Figura 68 en la Península y Baleares, y en la Figura 69, las Islas Canarias, se les llamará zonas aptas con posible riesgo de encharcamiento.

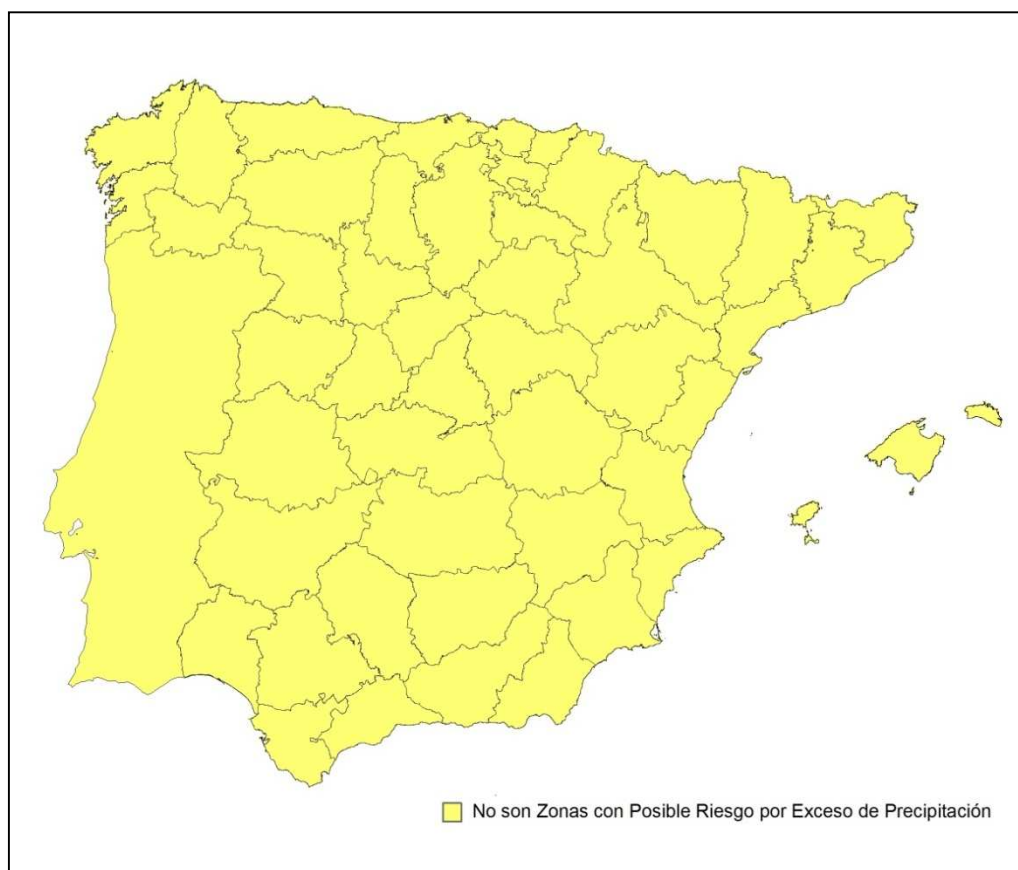


Figura 68: Zonas aptas con posible riesgo por exceso de precipitación en la Península Ibérica y Baleares.

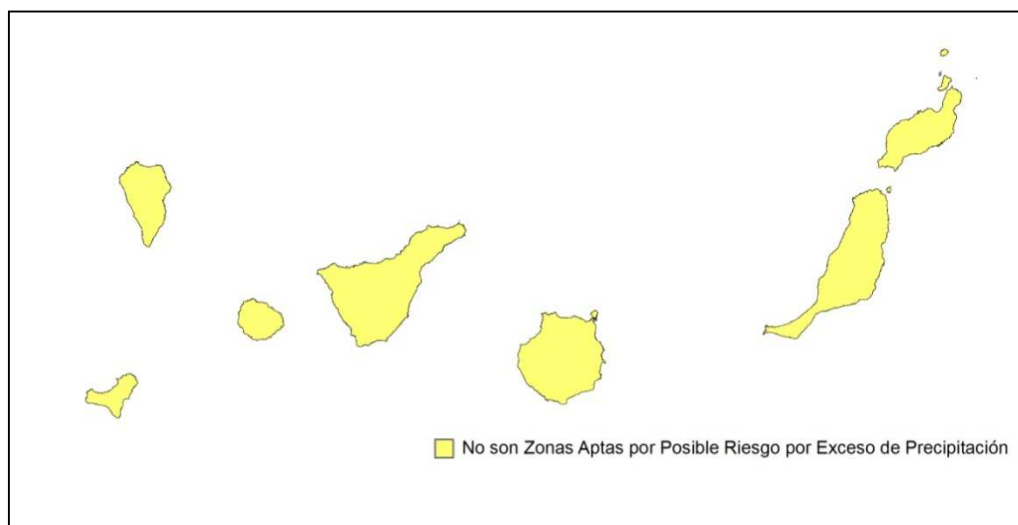


Figura 69: Zonas aptas con posible riesgo por exceso de precipitación en las Islas Canarias.

Al no coincidir ninguna de las regiones que resultan aptas en cuanto a temperatura, con aquellas regiones donde la precipitación oscila entre los 1.500 y los 2.250 mm, no va a existir posible riesgo por exceso de precipitación en la Península, Baleares ni Canarias.

5.2.1.5. Zonas no aptas por exceso de precipitación.

Serán aquellas regiones de la Península, Baleares y Canarias, donde a pesar de ser aptas en cuanto a temperaturas, al tener una precipitación superior a 2.250 mm, la *Moringa oleifera* no es capaz de sobrevivir.

Al no coincidir ninguna de las regiones aptas en cuanto a temperaturas con las regiones donde la precipitación media anual es superior a 2.250 mm, no va a ser éste un factor excluyente para la introducción de la *Moringa oleifera*. Por ello, en las Figuras 70 y 71, no aparece ninguna región en color verde, al aplicar esta condición.



Figura 70: Zonas No Aptas por exceso de precipitación en la Península Ibérica e Islas Baleares.

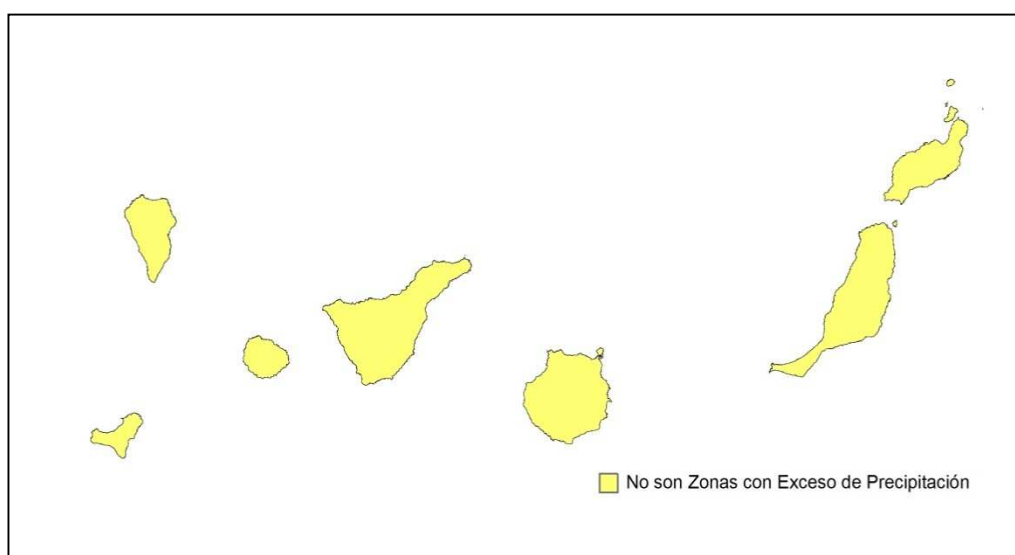


Figura 71: Zonas No Aptas por exceso de precipitación en las Islas Canarias.

5.2.1.6. Potenciales Zonas Aptas de Introducción de la *Moringa oleifera*.

El modelo digital elaborado de las potenciales áreas aptas de introducción de la *Moringa oleifera* en la Península Ibérica, Islas Baleares e Islas Canarias, resulta de la fusión en un único mapa de las regiones que han sido clasificadas como zonas aptas con todas sus variantes (aptas con obligatorio uso de riego, con probable uso de riego, aptas (T^a y Pp), aptas con posible riego de exceso de precipitación y no aptas por exceso de precipitación).

Su aplicación conduce a la cartografía que figura representada en la Figura 72 donde se muestran en detalle las regiones del suroeste de la Península y en la Figura 73 en detalle el sureste de la Península e Isla de Ibiza y Formentera, en las que se localizan las zonas aptas de introducción. En la Figura 74, se muestran las regiones de las Islas Canarias.

En el Capítulo de Mapas, se pueden ver las Zonas Aptas de Introducción de la especie, en A3.

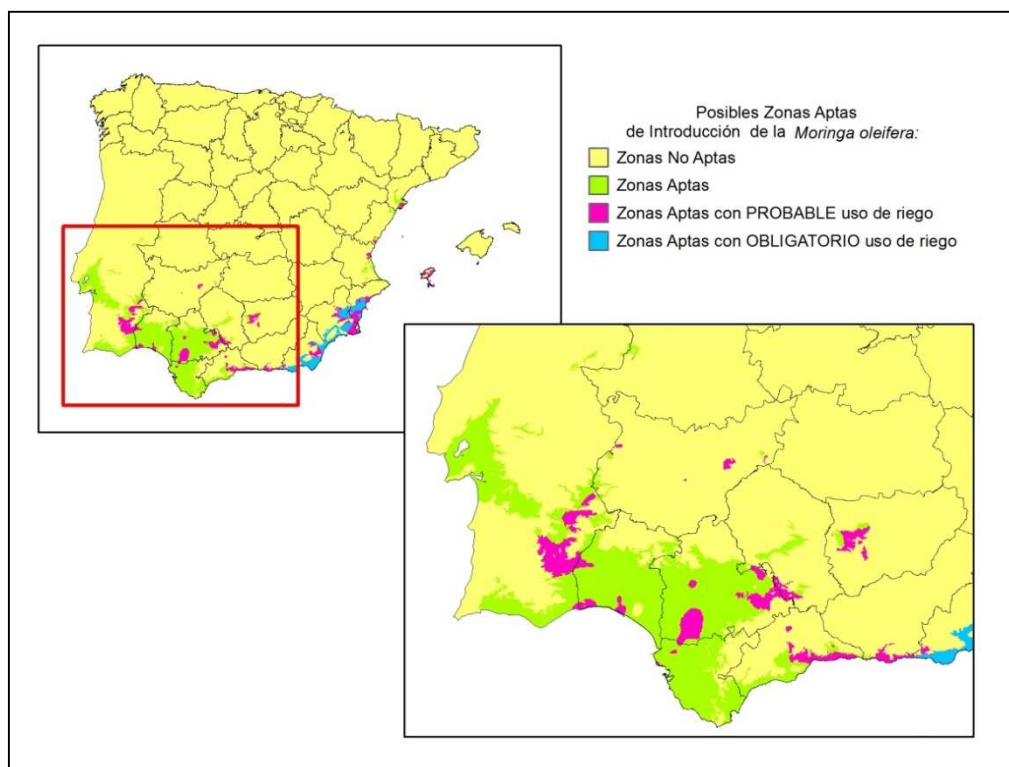


Figura 72: Detalle del suroeste de la Península de las Potenciales Zonas Aptas de introducción de la especie.

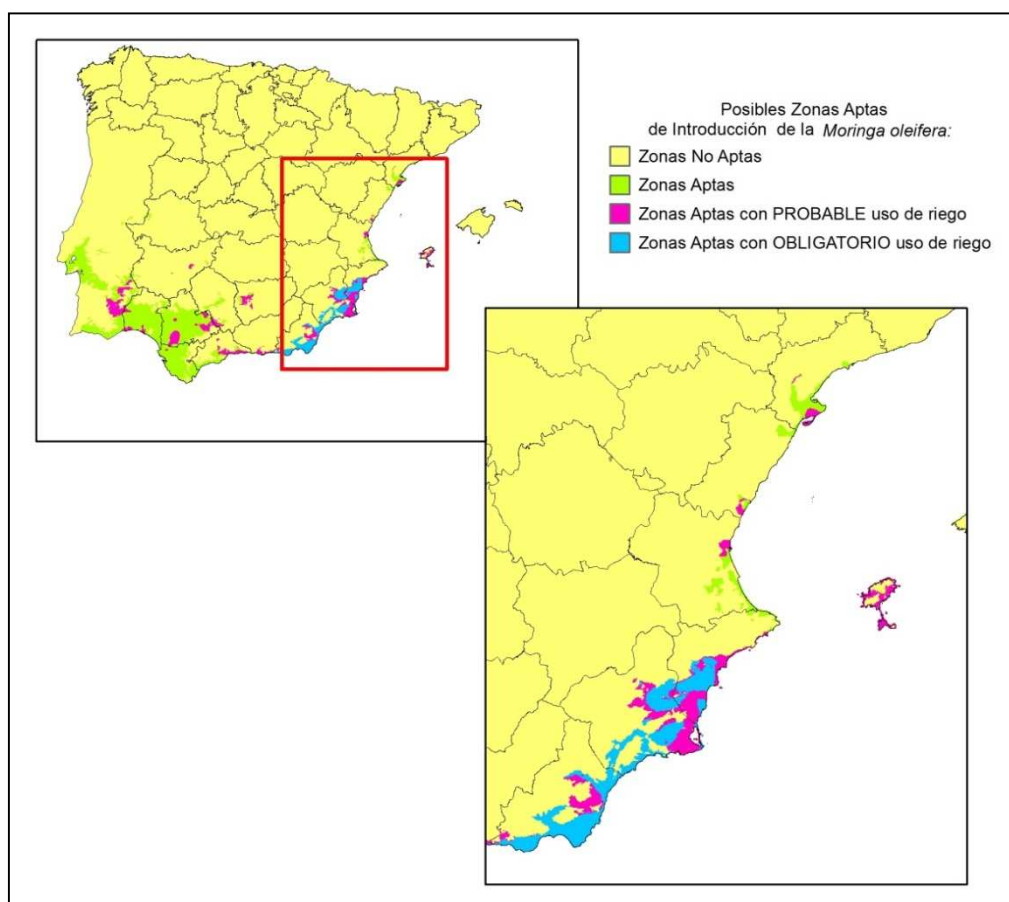


Figura 73: Detalle del sureste de la Península, litoral Mediterráneo e Islas de Ibiza y Formentera, de las Potenciales Zonas Aptas de introducción de la especie.

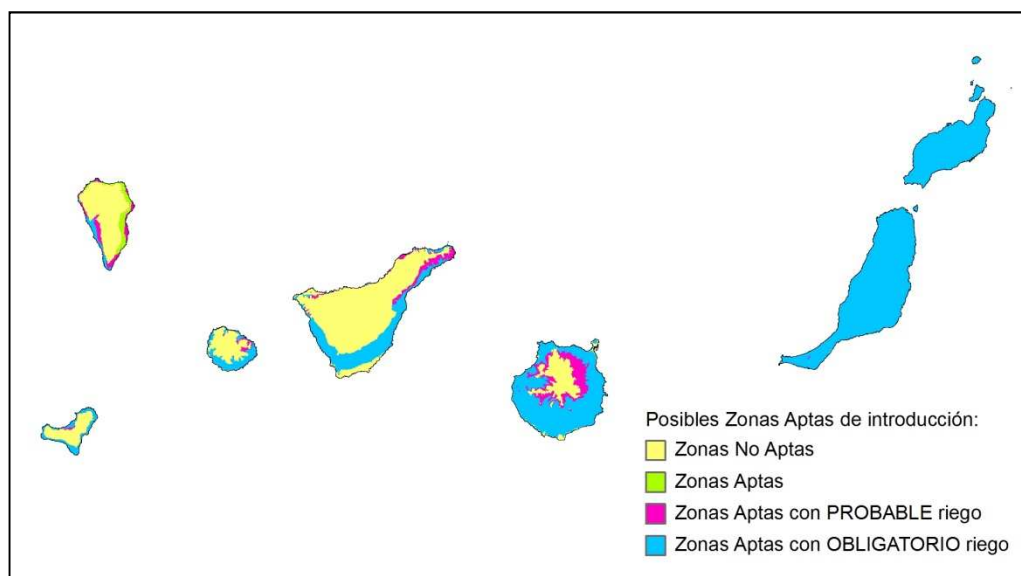


Figura 74: Potenciales Zonas Aptas de introducción de la especie en las Islas Canarias.

5.2.2. Potenciales Zonas Óptimas de introducción.

Para conocer las zonas donde la *Moringa oleífera* alcanza su óptimo de crecimiento, y así delimitar las regiones donde se logrará una mayor producción, se añadirá la variable de temperatura que la literatura señala como el principal condicionante para un excelente crecimiento.

Al igual que en caso anterior, primero se estudiarán las regiones que son óptimas en cuanto a temperaturas y posteriormente, se aplicarán los intervalos de precipitación.

Para determinar las zonas óptimas en cuanto a temperaturas, se añade la variable de temperatura media de los meses más cálidos superior a 25 °C; siendo julio y agosto en la Península y Baleares, y agosto y septiembre en las Islas Canarias.

Los parámetros térmicos que se aplicaron para conocer las Zonas Óptimas en lo que a temperatura se refiere, fueron: Temperatura media de invierno > -1 °C, Temperatura media anual > 13 °C, Temperatura media primavera > 13 °C, Temperatura media otoño > 13 °C, Temperatura media verano > 13 °C y la Temperatura media de los meses más cálidos > 25 °C, Zonas de clima compatible con “C” y “a” de la Clasificación de Köppen.

El resultado de la superposición de los parámetros térmicos, se muestra en la Figura 75 con las regiones que serán óptimas para la introducción de la especie en cuanto a temperaturas en la Península y Baleares (representadas en verde), ya que en esos lugares se cumplen todos y cada uno de los parámetros.

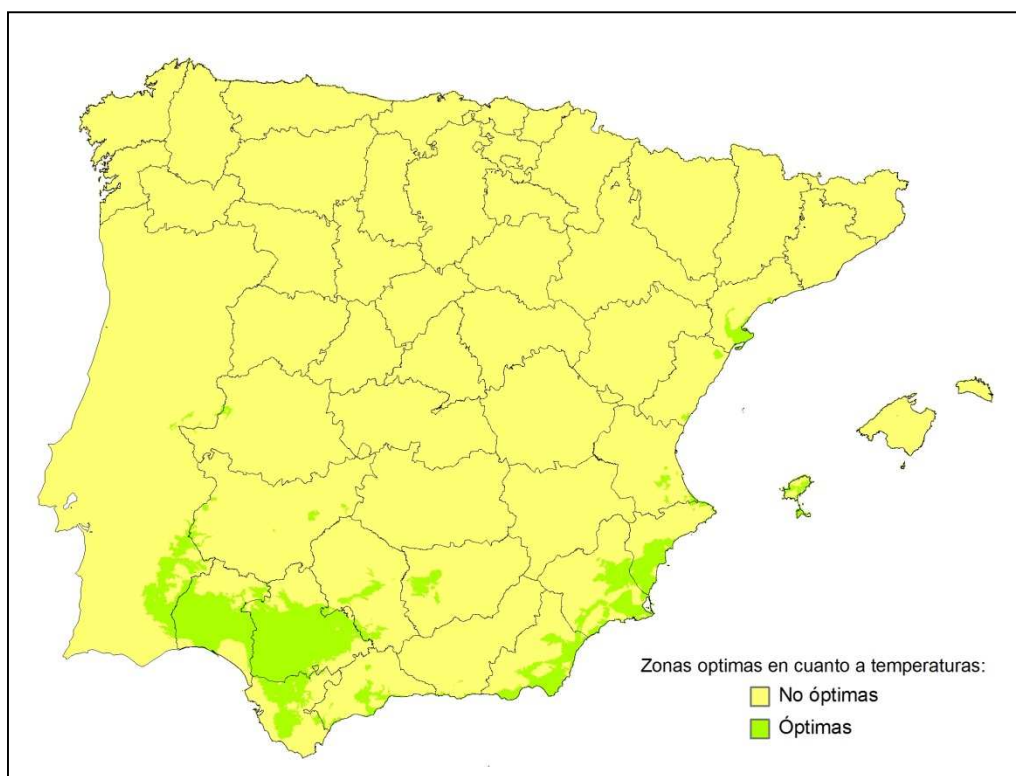


Figura 75: Zonas ÓPTIMAS en cuanto a temperaturas en la Península Ibérica e Islas Baleares.

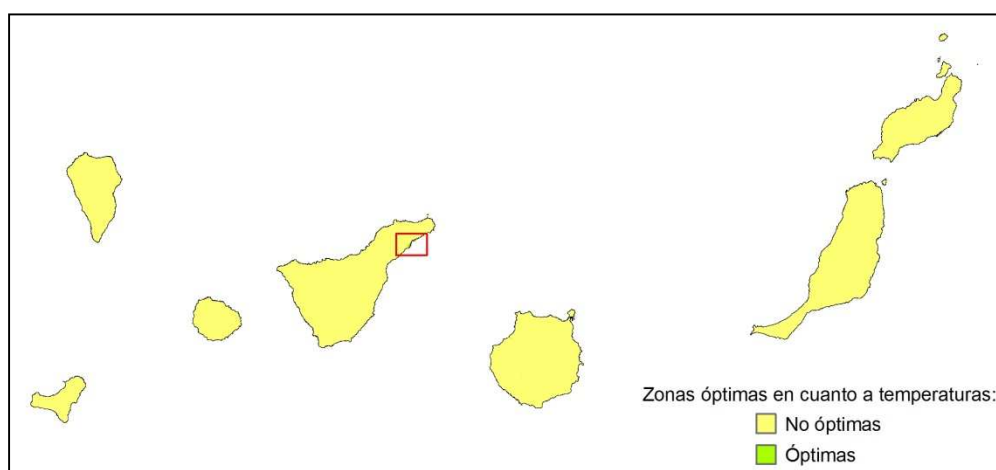


Figura 76: Zonas APTAS en cuanto a temperaturas en las Islas Canarias.

Para determinar las zonas potencialmente óptimas para la introducción de la *Moringa oleífera* se aplicarán a las zonas óptimas en cuanto a temperaturas, los intervalos pluviométricos estudiados y su comportamiento en las zonas óptimas, resultando lo siguiente:

- $P_p < 300$ mm: Zonas óptimas con riego obligatorio.
- $300 \text{ mm} < P_p < 500$ mm: Zonas óptimas con riego probable.
- $500 \text{ mm} < P_p < 1.500$ mm: Zonas ÓPTIMAS (T^a y P_p).
- $1.500 \text{ mm} < P_p \text{ media anual} < 2.250$ mm: Zonas óptimas con posible riesgo por exceso de precipitación.
- $P_p > 2.250$ mm: No aptas por exceso de precipitación.

El resultando final de las Potenciales Zonas Óptimas de introducción de la *Moringa oleífera* en la Península y Baleares, al igual que en el caso anterior, se muestran en detalle primero del cuadrante suroeste (Figura 77) y el sureste peninsular e Islas de Ibiza y Formentera, en la Figura 78.

Además, en esta ocasión se ha añadido la variable zonas aptas (representado en color naranja), para evitar la confusión de considerar estas regiones como no aptas para la introducción.

En el caso de las posibles zonas óptimas para la introducción de la *Moringa oleífera* de las islas Canarias, ocurre lo siguiente.

Los mapas generados para los meses de julio, agosto y septiembre, ponen de manifiesto que en la mayor parte del territorio canario no se cumple la condición de temperatura media superior a 25°C , exceptuando una pequeña región del noreste de la isla de Tenerife.

Esto significa que en las islas Canarias, en principio la especie no va a lograr un óptimo de crecimiento, siguiendo los criterios establecidos por la literatura publicada. Lo cual no implica que la especie vaya a tener problemas de crecimiento, ya que según la AEMet (2012), hay regiones donde la temperatura media de estos meses ronda los 24°C , valor muy próximo a los 25°C .

Por lo que podría ser interesante conocer la superficie del archipiélago donde se cumple la variable de 24°C, aunque al haber planteado en el este estudio la condición de 25 °C, podría resultar confuso reducir el valor de la variable. Por ello, para mantener la misma metodología en el estudio, no se aplicará una variable diferente a pesar de ser conscientes que muy probablemente, la planta en las Islas Canarias alcance un crecimiento óptimo.

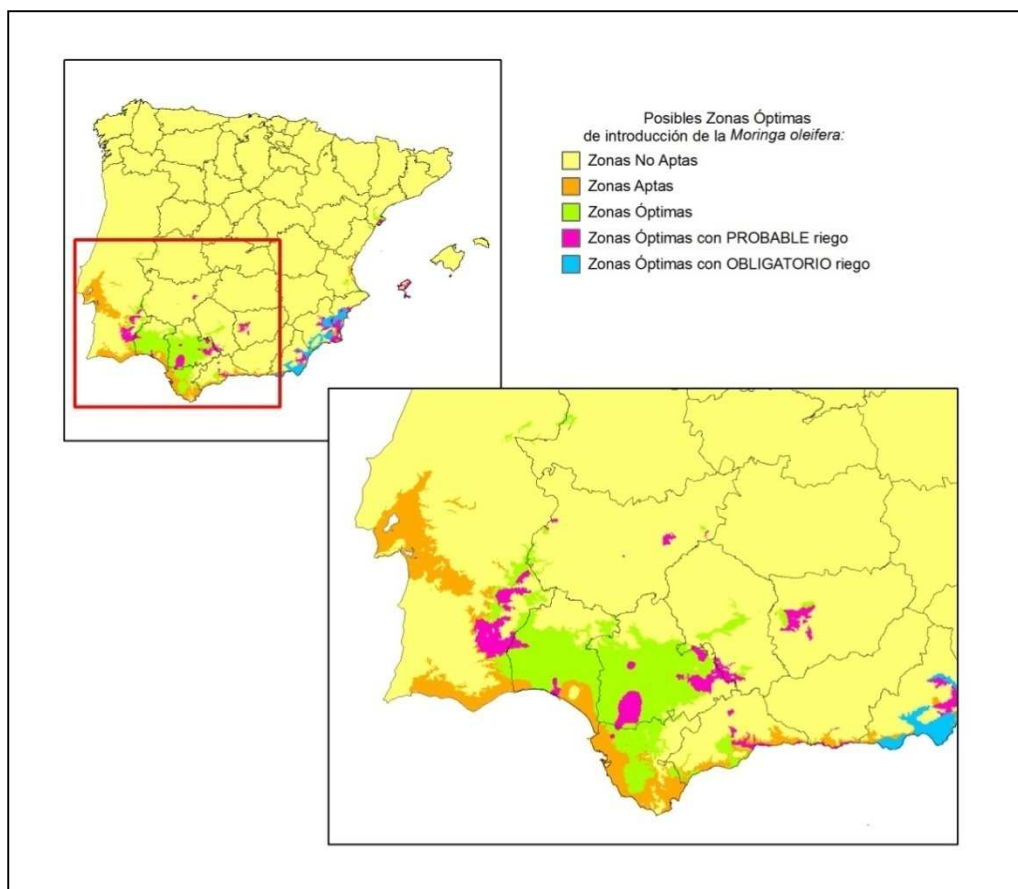


Figura 77: Detalle del suroeste de la Península de las Potenciales Zonas óptimas de introducción de la especie.

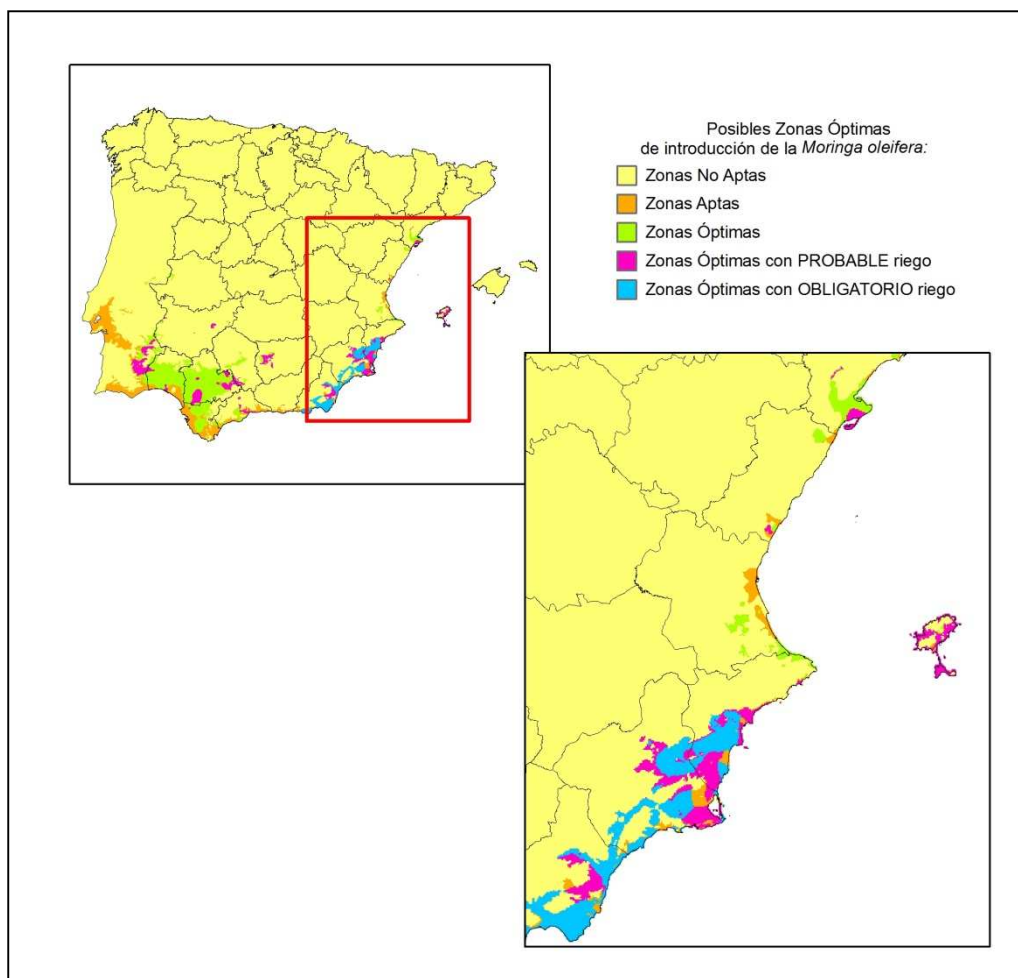


Figura 78: Detalle del sureste de la Península, litoral Mediterráneo e Islas de Ibiza y Formentera, de las Potenciales Zonas Óptimas de introducción de la especie.

5.2.3. Potencial área de introducción de *Moringa oleifera*.

Para alcanzar el objetivo propuesto de un único mapa donde se recopile la potencial área de introducción de la moringa, se optó por definir clases de potencialidad. De esta manera, se agrupan los resultados obtenidos en los mapas de zonas aptas de introducción y las zonas óptimas de introducción (con sus respectivas variantes) en un modelo único.

Para establecer las clases de potencialidad, se han tenido en cuenta las temperaturas y la precipitación, ya que donde no se cubren las necesidades de la planta, será necesario realizar inversión económica para implantar el sistema de riego.

Las clases de potencialidad propuestas son las siguientes:

- Muy alta: serán aquellas regiones óptimas en cuanto a temperaturas y en las que la precipitación sea la idónea para la especie, es decir, oscile entre los 500 mm y los 1.500 mm.
- Alta: serán aquellas regiones donde la temperatura y la precipitación sean aptas, es decir, sean regiones aptas en cuanto a temperaturas y la precipitación varíe entre los 500 mm y los 1.500 mm.
- Media-Alta: serán aquellas regiones con temperaturas óptimas, pero probablemente necesiten un sistema de riego pues la precipitación oscila entre 300 y 500 mm.
- Media: serán aquellas regiones aptas en cuanto a temperaturas y que probablemente necesiten el uso de riego.
- Media-Baja: serán aquellas regiones óptimas en cuanto a temperaturas y la precipitación sea menor a 300 mm, por lo que será obligatorio el uso de un sistema de riego.
- Baja: serán aquellas regiones aptas en cuanto a temperaturas, pero con una precipitación que va a obligar el uso de un sistema de riego.
- Nula: no son aptas en cuanto a temperaturas, y por tanto, son descartadas para la potencial introducción de la *Moringa oleifera*.

Se ha de concretar que las regiones que han sido clasificadas con potencialidad media-alta, media, media-baja y baja, si se les realiza el aporte hídrico necesario a cada una de ellas, hasta alcanzar lo que se considera apto para la especie (entre 500 mm y 1.500 mm), ascenderán a producciones muy altas o altas.

En esta ocasión se vuelve a detallar el cuadrante suroeste y sureste con Ibiza y Formentera, en las Figuras 79 y 80, respectivamente. En el capítulo de mapas se puede ver a mayor tamaño.

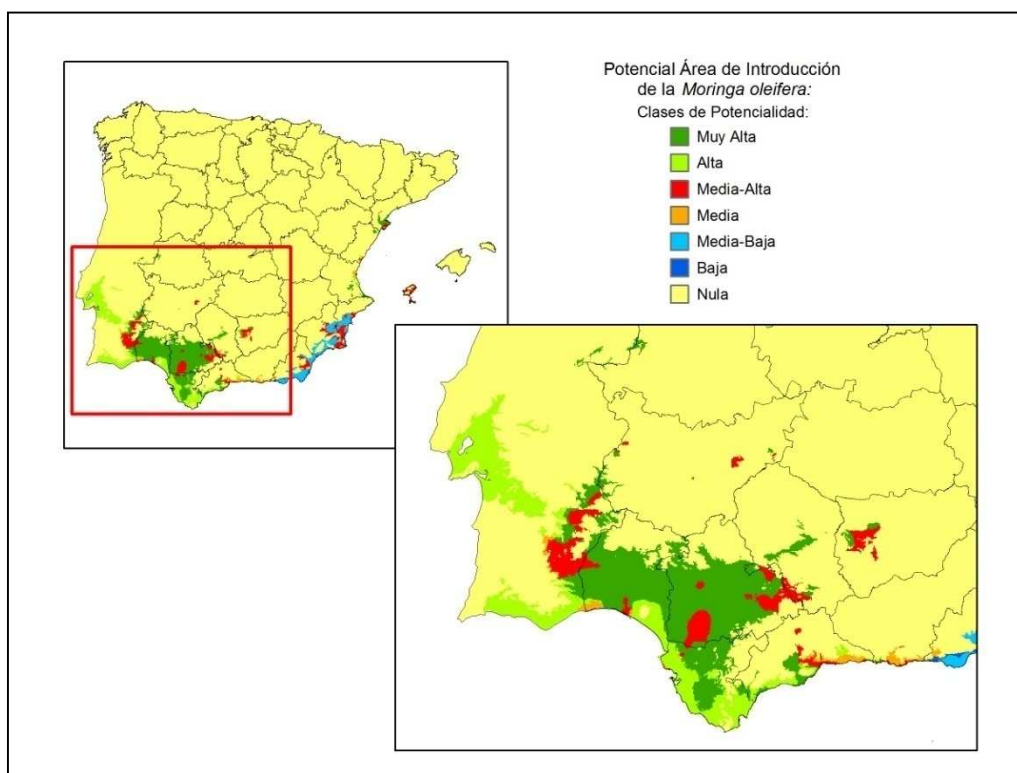


Figura 79: Detalle del suroeste de la Península de la Potencialidad Área de introducción de la *Moringa oleifera*.

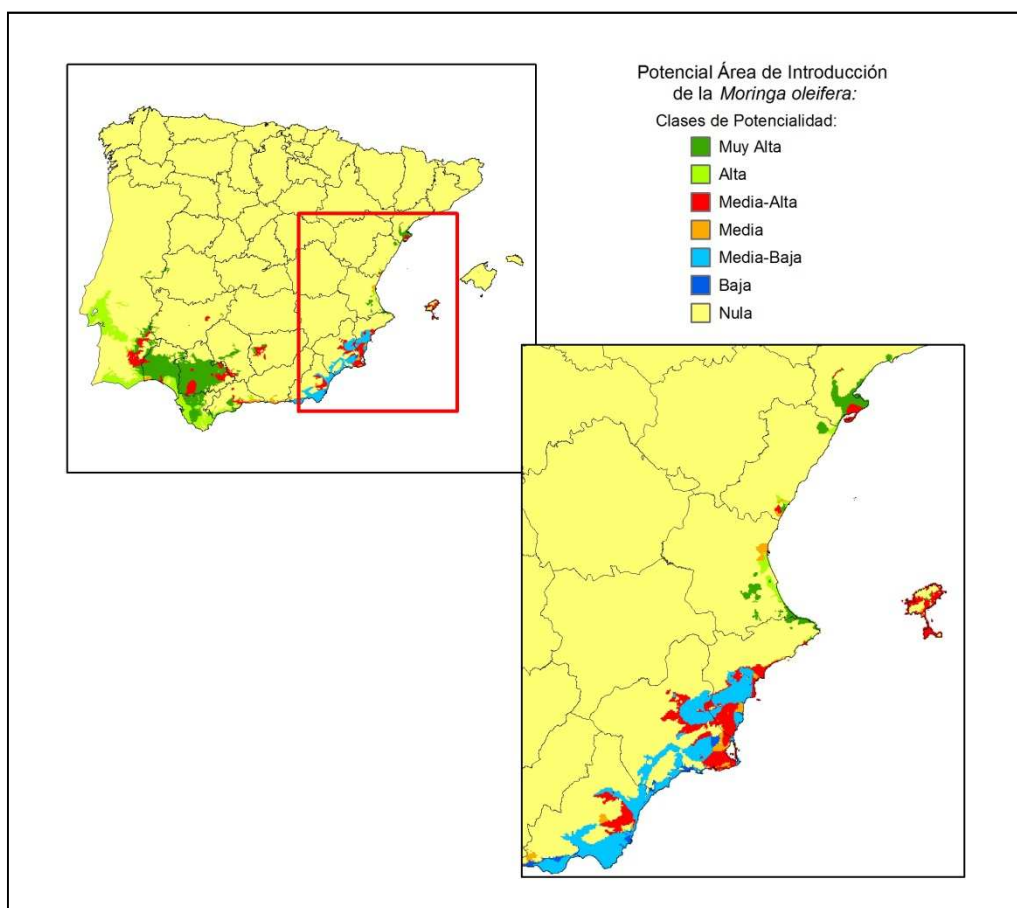


Figura 80: Detalle del sureste de la Península, litoral Mediterráneo e Islas de Ibiza y Formentera de la Potencialidad Área de introducción de la *Moringa oleifera*.

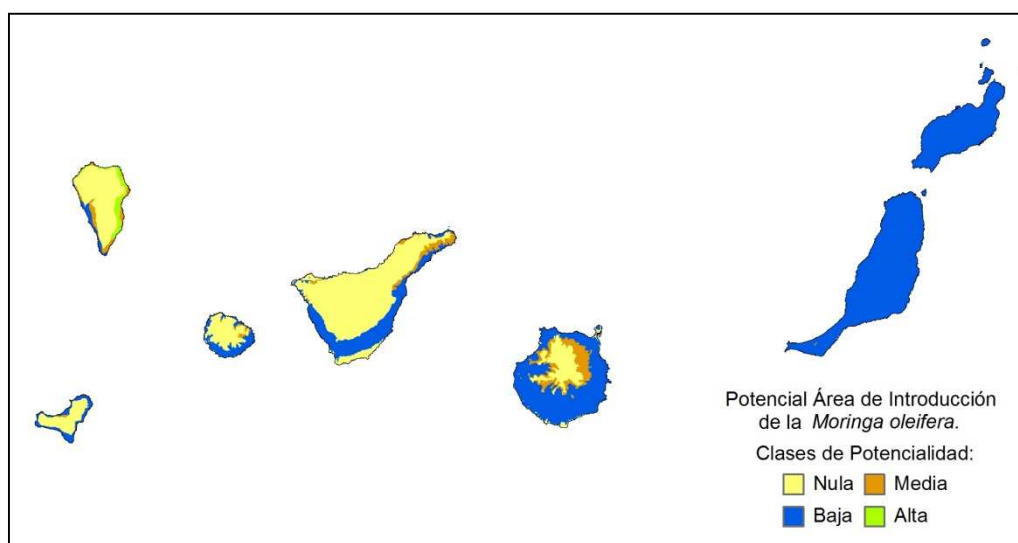


Figura 81: Potencialidad Área de introducción de la *Moringa oleifera* en las Islas Canarias.

6. CONCLUSIONES.

Este estudio es un primer análisis para conocer el área potencial de introducción de la *Moringa oleifera* a gran escala tanto en España como en Portugal, teniendo en cuenta únicamente criterios climáticos, por lo que puede ser el punto de partida de futuros estudios, donde se plantee un trabajo más detallado acerca de su ubicación.

Como síntesis de los resultados de este estudio, se puede concluir que las principales limitaciones para la introducción de la *Moringa oleifera* son el riesgo de heladas y la extrema aridez. La gran capacidad de adaptación ecológica de la moringa, permite que esté representada en numerosas regiones de España y Portugal (continental).

Si el fin es obtener la máxima productividad de la especie, a tenor de los resultados, se debería introducir principalmente en el suroeste peninsular, aunque en la costa sureste habrá buenos rendimientos, si se implanta un sistema de riego.

De los múltiples usos de la especie, sería interesante prestar especial atención a su empleo como especie forrajera, como complemento alimenticio y su aceite, para cosmética. Aunque de buena calidad para consumo humano, en España se descarta este mercado porque le sería muy difícil competir con el excelente aceite de oliva.

BIBLIOGRAFÍA:

Alfaro, N.C. 2008. Rendimiento y uso potencial de Paraíso Blanco, *Moringa oleifera* Lam, en la producción de alimentos de alto valor nutritivo para su utilización en comunidades de alta vulnerabilidad alimenticia-nutricional de Guatemala. Informe final, proyecto FODECYT, nº 26, 2006.

Anónimo, 1746. Elencus plantarum horti regii botanici matritensis.

Anwar, F.; Latif, S.; Ashraf, M. & Gilani, A.H. 2007. *Moringa oleifera*: a food plant with multiple medicinal uses. *Phytother. Res.* 21, 17–25.

Agencia Estatal De Meteorología (AEMet). 2011. Atlas Climático Ibérico. Ed. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 79 pp.

Agencia Estatal De Meteorología (AEMet). 2012. Atlas Climático de los archipiélagos de Canarias, Madeira y Azores. Ed. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 79 pp.

Atlas de la Agroenergía y los biocombustibles en las Américas: II Biodiésel / IICA, Programa Hemisférico en Agroenergía y Biocombustibles-San José, C.R.: IICA, 2010.

Bhishagratna, K.K. 1963. The Sushruta Samhita. The Chowkhamba Sanskrit Studies, Vol.30, Varanasi.

Serrada, R.; Montero, M. & Reque, J. 2008. Compendio de Selvicultura Aplicada en España. INIA y FUCOVASA. Madrid.

Carabaza, J.M.; García, E.; Hernández, J.E. & Jiménez, A. 2004. Árboles y arbustos de Al-Andalus, CSIC, Madrid.

Cobas, A.C. & Molina, L.B. 2004. Aptitud papelera de *Moringa oleifera*. V Jornadas de Desarrollo e Innovación. Noviembre de 2004, INTI.

Cronquist, A. 1981. An Integrated System of Classification of Flowering Plants. Columbia University Press.

Do Anh, N.; Anh Phong, N.; Nghia, N. & Thi Khanh, T. 2009. Status and potential for the development of Biofuels and rural renewable energy Vietnam. Status and potential for the development of biofuels and rural renewable energy: VietNam. Mandaluyong City, Philippines: Asian Development Bank. Pp.70.

Fahey, J.W., 2005. *Moringa oleifera*: A review of the medical evidence for its nutritional, therapeutic, and prophylactic properties. Part 1. Trees for Life Journal, 1:5.

Falasca, S. & Bernabé, M.A. 2008. Potenciales usos y delimitación del área de cultivo de *Moringa oleifera* en Argentina. Redesma.

Flores, B.A. & Duarte, F.J., 2004. Producción de biomasa de *Moringa oleifera* sometida a diferentes densidades de siembra y frecuencias de corte en el trópico de seco de Managua, Nicaragua. Tesis. 51 p.

Foild, N.; Makkar, H.P.S. & Becker, K. 2001. The potential of *Moringa oleifera* for agricultural and industrial use. Taller internacional sobre el potencial de desarrollo de los productos de moringa. Dar es Salaam. Tanzania.

Foild, N.; Mayorga, L. & Vásquez, W. 1999. Utilización del marango (*Moringa oleifera*) como forraje fresco para el ganado. Conferencia electrónica de la FAO sobre agroforestería para la producción animal en América Latina.

Folkard, G. & Sutherland, J. 1996. *Moringa oleifera*. Un árbol con enormes potencialidades. *Agroforestry Today*, 8(3): 5-8.

García-Fayos, B.; Arnal, J.M.; Verdú, G. & Sauri, A. 2010. International Conference on Food Innovation. Study of *Moringa oleifera* oil extraction and its influence in primary coagulant activity for drinking water treatment.

Ghasi, S. E. & Nwobodo, J.O., 2000. Efecto hipocolesterolémico del extracto crudo de hojas de *Moringa oleifera* Lam. en ratas Wistar alimentadas con dieta de alto grado en grasas. Diario de Etnofarmacología, 69(1): 21-25.

Ghebremichael, K.A. 2004. Moringa seed and pumice as alternative natural materials for drinking water treatment.

Godino, M.; Arias, C. & Izquierdo, M.I. 2013. Interés forestal de la *Moringa oleifera* y posibles zonas de implantación en España. 6º Congreso Forestal de España. Vitoria-Gasteiz, País Vasco. Documento 6CFE01-522. pp. 2-13.

Godino, M.; Vázquez, T., Izquierdo, M.I. & Pérez, C. 2013. Estudio de la incidencia de los factores ecológicos abióticos (temperatura y humedad) en la germinación y desarrollo de la *Moringa oleifera* Lam. 6º Congreso Forestal de España. Vitoria-Gasteiz, País Vasco. Documento 6CFE01-523. Pp. 2-14.

Godino, M.; Villegas, S.; Izquierdo, M.I.; Velásquez, J.C. & Vargas, R. 2013. Evaluación del uso energético de la *Moringa oleifera*. 6º Congreso Forestal de España. Vitoria-Gasteiz, País Vasco. Documento 6CFE01-524. Pp. 2-9.

Jahn, S.A.A. 1989. Uso apropiado de coagulantes naturales africanos para el abastecimiento de agua en el medio rural. Investigación realizada en el Sudán y guía para nuevos proyectos. Programa de salud ambiental CERPIS/OPS/OMS. Lima, Perú.

Khuroo, A.A.; Weber, E.; Malik, A.H.; Reshi, Z.A. & Dar, G.H. 2011. Altitudinal distribution patterns of the native and alien woody flora in Kashmir Himalaya, India. Environmental Research 111, 967-977.

Lalas, S.; Tsaknis, J. 2001. Characterization of *Moringa oleifera* seed oil variety "Periyakulam 1". Journal of food composition and analysis, (2002)15: 65–77.

Lamarck, J-B.P.M., 1785. Encyclopédie Méthodique Botanique 1(2): 398. París (Francia).

Liñan, F. 2010. *Moringa oleifera*: el árbol de la nutrición. Artículo de revisión. Ciencia y salud virtual. Vol. 2. Corporación Universitaria Rafael Núñez. Cartagena, Colombia.

Maíz, N. 2011. *Moringa oleifera*. La planta de los mil usos. Abc Rural. 1 p.

Martínez, V.B.; Zamarripa, C.A.; Solís, B.J.L. & Hernández, C.M. 2011. Evaluación preliminar del comportamiento agroindustrial de *Moringa oleifera* en México. INIFAP, VI Reunión nacional de innovación agrícola. León, Guanajuato (México). Pp 226.

Medina, M.G.; García, D.E.; Clavero, T. & Iglesias, J.M. 2007. Estudio comparativo de *Moringa oleifera* y *Leucaena leucocephala* durante la germinación y la etapa inicial de crecimiento. *Zootecnia Tropical*, 25(2): 83-93.

Mejía, L. J. & Mora, A.P., 2008. Efecto de la suplementación con *Moringa oleifera* sobre el comportamiento productivo de ovinos alimentados con una dieta basal de pasto guinea (*Panicum maximum* Jacq.) Tesis. 73 p.

Merino, S.; González, S. & Carrero, L. 2011. Manual de Introducción a los SIG: Aplicación en la Ingeniería Forestal. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal. Universidad Politécnica de Madrid.

Muhl, Q.E.; Du Toit, E. & Robbertse, P.J. 2011. Adaptability of *Moringa oleifera* Lam. (Horseradish) tree seedlings to three temperature regimes. American Journal of Plant Sciences, 2011(2): 776-780.

National Research Council, 2006. Lost crops of Africa. Volume II: Vegetables. The National Academies Press. 246-267.

Navie, S. & Csurhes, S. 2010. Horseradish tree. *Moringa oleifera*. Biosecurity Queensland. Department of Employment, Economic Development and Innovation. Brisbane (Australia).

Olson, M.E. & Carlquist, S. 2001. Stem and root anatomical correlations with life form diversity, ecology, and systematics in *Moringa* (*Moringaceae*). Botanical Journal of the Linnean Society 135: 315–348.

Olson, M.E. 2009. *Moringaceae* Martinov. Drumstick Tree Family: 167-169. Flora of North America. Vol. 7. Magnoliophyta: Salicaceae to Brassicaceae. Committee.

Olson, M.E.; Fahey, J.W. 2011. *Moringa oleifera*: un árbol multipropósito para las zonas tropicales secas. Revista Mexicana de Biodiversidad, 82: 1071-1082.

Pacheco, R.M. 2006. Análisis del intercambio de plantas entre México y Asia de los siglos XVI al XIX. Master's Thesis. UNAM. México.

Paliwal R., Sharma V. & Pracheta, 2011. A review on Horse Radish Tree (*Moringa oleifera*): A multipropose tree with high economic and commercial importance. Asian journal of biotechnology 3 (4): 317-328, 2011.

Parrota, J.A. 1993. *Moringa oleifera* Lam. Reseda, horseradish tree. *Moringaceae*. Horseradish tree family, USDA Forest Service, International Institute of Tropical Forestry; SO-ITF-SM; 60.

Parrota, J.A. Enzyklopädie der Holzgewächse – 40. Erg.Lfg. 6/05.

Paz, J. & Del Bosque, G. Investigación y desarrollo de producción de moringa para la obtención de biodiesel en México. Fondo Sectorial de Investigación en

Materias Agrícola, Pecuaria, Acuicultura, Agrobiotecnología y Recursos Fitogenéticos. Convocatoria 2011.

Peel, M.C; Finlayson, B.L. & McMahon, T.A. 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger Climate Classification. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11, 1633-1644.

Pérez, C. 2012. Trabajo de Fin de Carrera: *Moringa oleifera* Lam., especie forestal de usos múltiples. Revisión bibliográfica. E.U.I.T. Forestal (U.P.M.) Madrid.

Pérez, A.; Sánchez, T.; Armengol, N. & Reyes, F. 2010. Características y potencialidades de *Moringa oleifera* Lamark. Una alternativa para la alimentación animal. *Pastos y forrajes*, 33 (4): 16 p.

Pitombeira, S.; Fernandes, P.C.; Torres, I.V. & Góes, M. Influência da temperatura na germinação de moringa (*Moringa oleifera* Lam-Moringaceae).

Price M.L., 2007 (Revised). The Moringa Tree. Educational Concerns for Hunger Organization (ECHO). Technical Note. 1985 (revised 2007).

Radovich, T. 2011 (Revised). Farm and forestry production and marketing profile for moringa (*Moringa oleifera*). In: Elevitch, C.R. (ed.). Specialty Crops for Pacific Island Agroforestry. Permanent Agriculture Resources (PAR), Holualoa, Hawaii.

Ramachandran, C.; Peter, K.V. & Gopalakrishnan, P.K. 1980. Drumstick (*Moringa oleifera*) a multipurpose indian vegetable. *Economic Botany*, 34(3): 276-283.

Rashid, U.; Anwar, F.; Moser, B.R. & Knothe, G. 2008. *Moringa oleifera* oil: a possible source of biodiesel. *Bioresource Technology*, 99: 8175–8179.

Reyes, N. 2004. Marango: Cultivo y utilización en la alimentación animal. Guía técnica nº 5. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua.

Reyes, N.; Ledin, S. & Ledin, I. 2006. Biomass production and chemical composition of *Moringa oleifera* under different management regimes in Nicaragua. *Agroforestry Systems*, 66(3): 231-242.

Roloff, A.; Weisgerber, H.; Lang, U. & Stimm, B. 2009. Enzyklopädie der Holzgewächse, Handbuch und Atlas der Dendrologie. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. ISBN: 978-3-527-32141-4.

Saint Sauveur, A. & Broin, M. 2010. Growing and processing moringa leaves. *Moringanews/Moringa association of Ghana*. 36 p.

Serrada, R.; Montero, M. & Reque, J. 2008. Compendio de Silvicultura Aplicada en España. INIA y SUCOVASA. Madrid. Pp. 1.178.

Tenorio, E.; Nuñez, E. & Guzmán, R. 2008. Validación de la aplicación de la semilla de *Moringa oleifera* producida en el sur de Honduras como coagulante natural del agua destinada a consumo humano en la región de Yeguaré, Honduras. Programa para investigación y desarrollo. 28 p.

Tyson, K.S. 2008. Oil for a sustainable biodiesel world. Rocky Mountain biodiesel consulting, LLC. Orlando, Florida.

Vidal & Soler, S. 1889. Sinopsis de familias y géneros de plantas leñosas en Filipinas: Introducción a la flora forestal del archipiélago filipino. Manila (Filipinas).

Webs consultadas:

Última fecha de consulta de todas 14-1-14.

- [1]. <http://192.104.39.83/Name/40022823?projectid=3&langid=66>
- [2]. http://agritech.tnau.ac.in/crop_protection/crop_prot_crop_insect-veg_Drumstick.html
- [3]. <http://www.agrodesierto.com/moringa.html>
- [4]. www.agroterra.com
- [5]. <http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/historia/puti/puti4.htm>
- [6]. http://bib.cervantesvirtual.com/servlet/SirveObras/50148172752398006671902/p0000002.htm#l_12
- [7]. <http://www.drumsticksindia.com/aboutus/varieties.htm>
- [8]. <http://ecocrop.fao.org/ecocrop/srv/en/cropView?id=2348>
- [9]. <http://www.explorelifeonearth.org/bottle.html>
- [10]. www.Friht.org
- [11]. <http://www.hinduonnet.com/2000/08/03/stories/08030009.htm>
- [12]. <http://ilovemoringa.com>
- [13]. <http://www.itdg.org.pe/publicaciones/Biodiesel/mayorga.pdf>
- [14]. http://www.jatropha-world.org/moringa_oleifera_86.html
- [15]. <http://www.le.ac.uk/engineering/staff/Sutherland/moringa/cultivat/cult.htm>
- [16]. <http://milksci.unizar.es/bioquimica/temas/lipidos/vegraras.html>
- [17]. <http://www.moringa.net/varieties.htm>
- [18]. <http://plants.usda.gov/core/profile?symbol=MOOL>
- [19]. <http://proteinas.org.es/aminoacidos>
- [20]. <http://www.thebodyshop.es/services/search.aspx?code=MORINGA>
- [21]. <http://www.thewoodexplorer.com/>
- [22]. <http://www.treesforlife.org/>
- [23]. <http://www.worldagroforestry.org/sea/products/afdbases/af/asp/SpeciesInfo.asp?SpID=1169>
- [24]. <http://www.xerics.com/cultivos.biodiesel.html>

[25]. <http://www.engormix.com/MA-avicultura/nutricion/articulos/moringa-oleifera-t1891/141-p0.htm>

[26]. <http://geopress.educa.aragon.es/WebgeoNEW/libro/Climas/Climatolog%EDa/05-Dominios%20clim%E1ticos.pdf>

ANEXOS

ANEXO I. CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA DE KÖPPEN.

Originariamente fue formulada por Wladimir Köppen en 1900, y pasó por sucesivas modificaciones del propio Köppen y de otros climatólogos. Para la realización del estudio se seguirá el esquema de su última revisión de 1936, también conocida como clasificación de Köppen-Geiger, con la salvedad de que se eligió para separar los climas templados C y D los 0 °C, en lugar de los -3,0 °C de la clasificación original, conforme proponen Russel, Trewartha, Crichtfield entre otros autores. Este esquema es el utilizado en la clasificación climática del Atlas Nacional de España (2004) y en la actualizada a nivel mundial publicada por Peel et. al. (2007) (AEMet, 2011).

Gran parte de la inspiración de Köppen para desarrollar un mapa del mundo de clasificaciones climáticas se debe al mapa que en 1866 realizó Grisebach, de la vegetación mundial (Peel et al., 2007).

Resulta inconcebible pensar que Köppen hubiera hecho su clasificación original y su mapa, sin utilizar otras señales del paisaje (en concreto la vegetación), ya que en aquellos tiempos disponía de escasos datos climáticos (Peel et al., 2007).

La clasificación Köppen define distintos tipos de clima, a partir de los valores medios mensuales de temperatura y precipitación. Para delimitar los tipos de climas se establecieron intervalos de temperatura y precipitación basados principalmente en su influencia sobre la distribución de la vegetación y de la actividad humana (AEMet, 2011).

Los 30 posibles tipos de clima están divididos en 3 tropicales (Af, Am y Aw), 4 áridos (BWh, BWk, BSh y Bsk), 9 templados (Csa, Csb, Csc, Cfa, Cfb, Cfc, Cwa, Cwb y Cwc), 12 fríos (Dsa, Dsb, Dsc, Dsd, Dfa, Dfb, Dfc, Dfd, Dwa, Dw b, Dwc y Dwd) y dos polares (ET y EF).

En la tabla 14 se proporciona una descripción de los símbolos y los criterios utilizados para definir la clasificación climática de Köppen-Geiger:

Tipo de clima	Nombre	Características generales	Subclasificación	Variedades
A	Clima tropical	$T_{\text{frío}} \geq 18\text{ }^{\circ}\text{C}$	f, m, w	-
B	Clima árido	P_{ma} y T_{ma}	W, S	h, k
C	Clima templado	$0\text{ }^{\circ}\text{C} < T_{\text{frío}} < 18\text{ }^{\circ}\text{C}$	s, w, f	a, b, c
D	Clima frío	$T_{\text{frío}} \leq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $T_{\text{cálido}} > 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	s, w, f	a, b, c
E	Clima polar	$T_{\text{cálido}} < 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	T, E	-

Tabla 14: Criterios de la Clasificación de Köppen. Fuente: elaboración propia.

$T_{\text{frío}}$: temperatura media del mes más frío; P_{ma} : precipitación media anual;

T_{ma} : temperatura media anual ; $T_{\text{cálido}}$: temperatura media del mes más cálido

Los valores de temperatura se dan en grados centígrados ($^{\circ}\text{C}$) y la precipitación en milímetros (mm).

Tipo de clima A – Tropical:

Se caracteriza por tener la temperatura media del mes más frío $\geq 18^{\circ}\text{C}$. En función de la precipitación media anual se realiza la sub-clasificación de este clima:

- “f”: ausencia de estación seca, $P_{\text{p mes más seco}} \geq 60\text{mm}$
- “m” monzón: no es “Af” y la $P_{\text{p mes más seco}} \geq 100 - \frac{P_{\text{p media anual}}}{25}$
- “w” sabana: no es “Af” y $P_{\text{p mes más seco}} < 100 - \frac{P_{\text{p media anual}}}{25}$

Resultando, los subtipos:

Sub-clima	Descripción
Af	Clima tropical con ausencia de estación seca.
Am	Clima tropical monzónico.
Aw	Clima tropical con la estación seca en invierno.

Tabla 15: Sub-climas Tropicales (Clima A).
Fuente: elaboración propia.

Tipo de clima B – Árido:

La delimitación se realiza definiendo tres intervalos diferentes, en función del régimen anual de precipitación, para tener en cuenta que la precipitación en invierno, al tener menor evapotranspiración, es más efectiva para el desarrollo de la vegetación que la de verano.

- $P = 20 \times (T + 7)$: si la precipitación repartida a lo largo del año.
- $P = 20 \times T$: si el verano es seco (el 70% de la precipitación anual se concentra en los meses de otoño e invierno).
- $P = 20 \times (T + 14)$: si el invierno es seco (el 70% de la precipitación se concentra en los meses de primavera y verano).

Siendo “P” la precipitación media anual en milímetros (mm) y la “T” la temperatura media anual en grados Celsius (°C).

Se distinguen dos subtipos del clima B, el subtipo BS (estepa) y el subtipo BW (desierto), en función de la precipitación media anual alcance la mitad del valor establecido anteriormente (estepa) o no lo alcance (desierto).

Además en función de la temperatura media anual se sitúa por encima de los 18 °C o por debajo existen las variedades cálida (se representa con la letra h), y fría (se representa con la letra k).

Resultando:

Sub-clima	Descripción
BSh	Estepa cálida
BSk	Estepa fría
BWh	Desierto cálido
BWk	Desierto frío

Tabla 16: Sub-climas Áridos (Clima B).
Fuente: elaboración propia.

Tipo de clima C - Templado.

La temperatura media del mes más frío oscila entre 0 °C y 18 °C.

Se distinguen los subtipos Cs, Cw y Cf, en función del período marcadamente seco sea en verano (Cs), invierno (Cw) o no exista estación seca (Cf).

Además, existe la variante conforme la temperatura del verano:

- “a”: verano caluroso, T^a media mes más cálido $> 22\text{ }^{\circ}\text{C}$
- “b”: verano templado, T^a media mes más cálido $\leq 22\text{ }^{\circ}\text{C}$ y cuatro meses o más con un temperatura superior a $10\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- “c”: verano frío, T^a media del mes más cálido $\leq 22\text{ }^{\circ}\text{C}$ y con menos de 4 meses con temperatura superior a $10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Resultando los tipos de climas siguientes:

Sub-clima	Descripción
Csa	clima templado con verano seco y caluroso
Csb	clima templado con verano seco y templado
Csc	clima templado con verano seco y frío
Cwa	clima templado con invierno seco y verano caluroso
Cwb	clima templado con invierno seco y verano templado
Cwc	clima templado con invierno seco y verano frío
Cfa	clima templado sin estación seca con verano caluroso
Cfb	clima templado sin estación seca con verano templado
Cfc	clima templado sin estación seca con verano frío

Tabla 17: Sub-climas Templados. (Clima C). Fuente: elaboración propia.

Tipo de clima D - Frío:

La temperatura media del mes más cálido es superior a los $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ y la temperatura media del mes más frío es inferior a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Los intervalos para clasificar los subtipos y variedades del clima D, son los mismos que los utilizados para clasificar el clima tipo C.

Resultando los tipos de clima:

Sub-clima	Descripción
Dsa	clima frío con verano seco y caluroso
Dsb	clima frío con verano seco y templado
Dsc	clima frío con verano seco y frío
Dwa	clima frío con invierno seco y verano caluroso
Dwb	clima frío con invierno seco y verano templado
Dwc	clima frío con invierno seco y verano frío
Dfa	clima frío sin estación seca con verano caluroso
Dfb	clima frío sin estación seca con verano templado
Dfc	clima frío sin estación seca con verano frío

Tabla 18: Sub-climas Fríos (Clima D). Fuente: elaboración propia.

Tipo de clima E - Polar:

La temperatura media del mes más cálido es inferior a 0 °C, definiéndose dos subtipos:

- “E”: Tundra, temperatura media del mes más cálido > 0 °C.
- “F”: Glacial, temperatura media del mes más cálido ≤ 0 °C.

Sub-clima	Descripción
E	Tundra
F	Glacial

Tabla 19: Sub-climas Polares (Clima E).
Fuente: elaboración propia.

La clasificación climática de Köppen un siglo después, continúa siendo la clasificación climática más utilizada en varias disciplinas como para la regionalización climática de variables, o para evaluar la salida de modelos climáticos globales. Peel et al. (2007) actualizaron el mapa mundial de la clasificación climática Köppen-Geiger, basándose en un gran conjunto de datos mundiales de precipitación y temperaturas (Peel et al., 2007).

En los últimos años, se han creado cuatro mapas de la Clasificación de Köppen en formato digital. Los cuatro mapas son para periodos determinados (1901–1995, 1961–1990 o 1951–2000), mientras que el creado por Peel et al. (2007), está basado en los datos de la estación para todo el periodo de registro, lo cual lo convierte en el más representativo.

Esta modificación ha utilizado el criterio de la clasificación Köppen-Geiger (1936), con la excepción mencionada anteriormente siguiendo a Russell (1931), utilizando la temperatura del mes más frío >0°C en lugar de >-3°C que utiliza Köppen para como el límite entre el clima templado (C) y el frío (D).

La calidad del mapa final depende de la calidad de los datos introducidos. Si se comparan los escasos datos que tuvo a su disposición Köppen, con los disponibles en la actualidad, se puede concluir en que el esquema de

clasificación actual es más representativo, ya que a mayor número de datos, aumenta la precisión (Peel et al., 2007).

Para su realización utilizaron estaciones que al menos dispusieran de 30 mediciones mensuales (12.396 estaciones de medición de precipitaciones y 4.844 estaciones de temperaturas).

En este estudio se observa que el tipo de clima dominante a escala mundial en función de la superficie que ocupa es el clima árido – tipo B (30,2%), seguido del clima frío – tipo D (24,6%), tropical – tipo A (19,0%), clima templado – tipo C (13,4%) y clima polar - tipo E (12,8%).

Los sub-climas más comunes son: BWh - Desierto cálido (14,2%) y Aw - Clima tropical de sabana (11,5%).

En cambio, el sub-clima Csc (clima templado con verano seco y frío), no lo encontramos en ninguna región de la Tierra y Cwc (clima templado con invierno seco y verano frío), representa sólo el 0,002%.

En la Figura 81, se muestra la modificación de Peel et al. (2007, al mapa de la clasificación de Köppen a escala mundial.

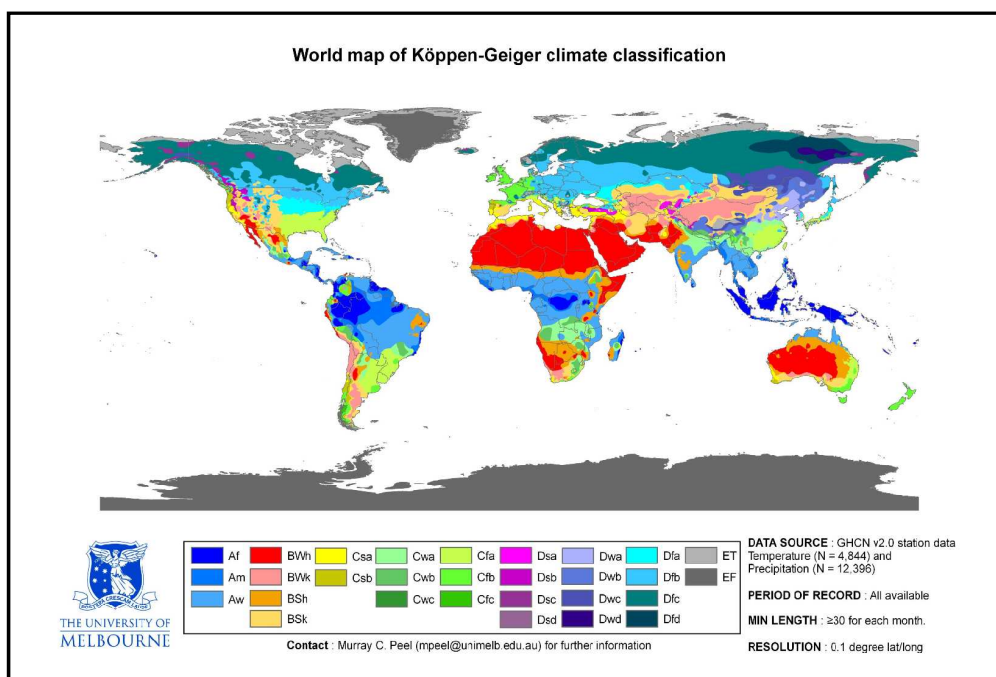


Figura 82: World map of Köppen-Geiger climate classification. Fuente: Peel et al., 2007.

ANEXO II. Agencia Estatal de Meteorología (AEMet).

El Atlas Climático de la Península Ibérica, se elaboró para los territorios continentales de Portugal y España, debido a la unidad geográfica que la Península Ibérica representa y conforme a lo acordado entre los Servicios Meteorológicos de Portugal (IM, I.P.) y de España (AEMet). De esta forma, el Atlas Climático pretende describir las principales características climatológicas de la Península Ibérica, al que se incluyen las Islas Baleares por su situación geográfica.

Por criterios de continuidad geográfica y climática, un año más tarde, se publicó el Atlas Climático de los archipiélagos de Canarias, Madeira y Azores. Se contó de nuevo con la colaboración de ambos países, y fue una publicación paralela a la anterior, manteniendo la misma estructura y variables, aunque para un espacio insular de características totalmente diferentes.

Para la elaboración de los Atlas la información básica utilizada, por norma general, fueron las normales climatológicas (valores medios) correspondientes al período 1971-2000 según recomendaciones³ de la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

La AEMet, presenta la cartografía de los valores medios de temperatura del aire (en grados Celsius) y de la precipitación (en milímetros), recurriendo a Sistemas de Información Geográfica (SIG), así como a tablas y gráficos con valores medios y extremos para ambos parámetros (Temperatura del aire y Precipitación).

La cartografía de la temperatura del aire, la obtuvieron aplicando los métodos de interpolación disponibles en el software del Sistema de Información Geográfica. Los valores medios de temperatura media, máxima y mínima del aire, utilizaron la regresión multivariada con altitud, distancia al litoral y latitud, a la que añadieron el componente residual obtenido a través de la herramienta

³ La OMM ha establecido una serie de normas en la elaboración y publicación de Atlas Climáticos, para que satisfagan las necesidades del mayor número de usuarios y sirvan de base para la elaboración de atlas regionales.

de interpolación “Inverse Distance Weighting” de dicho software. La cartografía de la precipitación, la obtuvieron de métodos de interpolación similares.

En las Canarias la complejidad de la distribución espacial de la precipitación debido a la orografía, con máximos de precipitación que se producen en las cotas de altitud intermedias, en las vertientes orientadas al norte y noroeste, dificultó la aplicación de modelos de regresión con variables explicativas, como la altitud. Sin embargo, la elevada densidad de estaciones pluviométricas ha permitido la aplicación satisfactoria de un “*krigeado*” universal con la altitud como variable auxiliar, de tal modo que la variación local de la precipitación con la altitud se tiene en cuenta en la interpolación, siendo diferente para las diversas cotas de altitud y exposición de vertientes.

Para completar los mapas de precipitación y temperatura, presentan además la cartografía y la clasificación climática de Köppen de la Península Ibérica e Islas Baleares, así como del archipiélago Canario.

Se siguen las definiciones adoptadas internacionalmente para las estaciones del año, en términos Climáticos, en el que el invierno lo forman los meses de diciembre, enero, y febrero, la primavera incluye marzo, abril, y mayo, el verano incluye junio, julio y agosto, y el otoño septiembre, octubre y noviembre.

Las capas ráster del Atlas Climático Ibérico (1971-2000) están en el formato georreferenciado (GeoTIFF), el sistema de coordenadas proyectado empleado es el EPSG 25830 (ETRS89/UTM Zona 30N) y la resolución de 250 metros.

En las capas ráster de Atlas Climático del archipiélago Canario, el sistema de referencia adoptado ha sido ITRF93/UTM 28N. Elipsoide de referencia: GRS80 (Geodetic Reference System 1980). Proyección cartográfica: UTM (Universal Transversal. de Mercator) - huso 28.

Recomendaciones de OMM, seguidas para la elaboración de los Atlas Climáticos.

- Se define como valor normal de un elemento climático en un lugar, al valor medio correspondiente a un número de años suficiente para poder

admitir que representa el valor predominante de ese elemento, en el lugar considerado. Para que los datos sobre clima sean comparables y compatibles en las diversas regiones del planeta, la OMM ha definido un intervalo de 30 años como modelo para calcular las normales climatológicas, admitiéndose suficientes para que la media de los valores, se filtren fluctuaciones de menor escala temporal, como por ejemplo la variabilidad interanual.

- También ha establecido la OMM que el primer período sea del 1 de enero de 1901 al 31 de diciembre de 1930, el segundo período del 1 de enero de 1931 al 31 de diciembre de 1960, y así sucesivamente. Los estudios estadísticos referentes a estos intervalos se denominan Normales Climatológicas de Referencia. Además de los períodos de referencia 31-60, 60-90, es habitual calcular las normales intermedias, es decir, en períodos de 30 años, pero actualizadas cada 10 años. Es el caso de las normales 1971-2000, en cuyos resultados se basa este Atlas Climático.
- Los cálculos de los valores normales climatológicas siguen las recomendaciones establecidas por la OMM en lo que se refiere a procedimientos de validación de la información meteorológica y a los criterios a adoptar en caso de ausencia de datos.

ANEXO III. Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Para representar la realidad se utilizan unidades de observación, también llamadas unidades espaciales. Simplificando, se puede decir que existen dos formas de individualización de las unidades espaciales, según sus propiedades (se individualizan en base a una determinada variable o atributo) ó según su localización (se individualizan en función a unas determinadas coordenadas espaciales). Estos planteamientos se materializan hoy en día en dos aproximaciones o modelos de datos: vectorial (propiedades) y ráster (localización) (Merino et al., 2011).

La información que se va a mostrar ha sido extraída del “Manual de Introducción a los SIG: Aplicación a la Ingeniería Técnica Forestal. U.P.M., 14ª edición, realizado por Silvia Merino, Sergio González, Leticia Carrero (2011)”.

El modelo de datos ráster trabaja con unidades artificiales que se corresponden con celdas de igual tamaño y forma (normalmente cuadrada), llamadas celdas o píxeles. Los píxeles son la unidad mínima de información de una capa ráster. Su tamaño determina la precisión de los datos ráster. A menor tamaño del píxel, mayor es la precisión.

Las capas ráster se obtienen superponiendo una malla regular sobre una variable de interés dentro de un área de estudio y realizando una única asignación de uno de los posibles valores de dicha variable a cada mínima unidad o píxel. Esta mínima unidad de información está también caracterizada por su tamaño sobre el terreno, concepto que está totalmente ligado a la resolución espacial (o escala) de la capa en cuestión, es decir, el modelo ráster, la individualización se produce en base a la localización, para después registrar las propiedades.

Las capas ráster pueden representar dos tipos de datos. Los datos continuos sin tabla de atributos ya que es muy probable que los valores de los píxeles sean números reales, es decir con decimales, lo que supone que prácticamente cada píxel tenga un valor diferente, resultando una tabla de tamaño

inimaginable, suelen obtenerse por interpolación; y los datos discretos, con tabla de atributos y suelen obtenerse desde conversión de datos vectoriales, siendo los valores de los píxeles números enteros.

Dado a que en cada celda se registra un único valor, si se quiere almacenar información relativa a varias variables, han de incluirse tantas capas como variables se consideren. En principio, las capas deberán tener el mismo tamaño de píxel para facilitar comparaciones y superposiciones con otras capas. Además, deberán estas asociadas a un sistema de coordenadas.

ANEXO IV. Datos Temperaturas Máximas (AEMet).

ANDALUCÍA						
INDICATIVO	AÑO	MES	DIA	NOMBRE - PROVINCIA	ALTITUD	Tmáx ≥48°C
4622	1982	8	19	La palma condado	92	48,5
				(Huelva)		
4622	2003	8	1	La Palma Condado	92	48
				(Huelva)		
5295	1981	7	30	Villanueva de la Reina	260	48
				(Jaén)		
5366	1995	7	23	Montoro	195	48
				(Córdoba)		
5393U	1995	7	24	Córdoba (presa S.R.Navallana) (Córdoba)	120	48
5442X	2000	8	10	Córdoba (est.depuradora)	85	48
				(Córdoba)		
5651O	2003	8	1	Lora del Río El Priorato	65	48
				(Sevilla)		
5671	1995	7	23	La Puebla Cazalla	174	49
				(Sevilla)		
5671	2003	8	1	La Puebla Cazalla	174	48
				(Sevilla)		
5711B	1989	7	22	Carmona el Cántaro	35	48
				(Sevilla)		
5802A	1995	7	19	Arahal (Depósitos de agua)	115	49
				(Sevilla)		
5868I	1995	7	23	UTRERA (Casilla calero)	65	48
				(Sevilla)		
5879	2003	8	1	Pantano de la Torre del Águila (Sevilla)	40	48

Tabla 20: Temperaturas máximas de Andalucía ≥ 48 °C. Fuente: AEMet.

Aragón						
INDICATIVO	AÑO	MES	DIA	NOMBRE - PROVINCIA	ALTITUD	Tmáx ≥48°C
9878E	1982	7	7	Alcolea de Cinca	186	48
				(Huesca)		

Tabla 21: Temperaturas máximas de Aragón ≥ 48 °C. Fuente: AEMet.

Castilla y león						
INDICATIVO	AÑO	MES	DIA	NOMBRE - PROVINCIA	ALTITUD	Tmáx ≥48°C
2901	1987	8	13	Salto de Saucelle (Salamanca)	116	48

Tabla 22: Temperaturas máximas de Castilla y León ≥ 48 °C. Fuente: AEMet.

Extremadura						
INDICATIVO	AÑO	MES	DIA	NOMBRE - PROVINCIA	ALTITUD	Tmáx ≥48°C
3389I	1980	7	23	Almaraz (Cáceres)	277	48
3445	1981	6	13	Torrejón el Rubio (salto) (Cáceres)	220	48
3477	1981	6	13	Navas del Madroño (Cáceres)	428	48
3524E	1984	7	29	Holguera- Valdencin (Cáceres)	270	48
3540E	1981	6	13	Zarza la mayor (Cáceres)	304	48
3540E	1981	6	14	Zarza la mayor (Cáceres)	304	48
4436B	1981	6	12	Almendralejo (Santa Ana) (Badajoz)	336	48
4436B	1981	6	13	Almendralejo (santa ana) (Badajoz)	336	49
4436B	1981	6	14	Almendralejo (santa ana) (Badajoz)	336	48
4489	1981	6	13	Cheles (Badajoz)	200	49
4489	1981	6	14	Cheles (Badajoz)	200	49
4489	1981	6	15	Cheles (Badajoz)	200	49
4489	1981	6	16	Cheles (Badajoz)	200	48
4489	1981	6	17	Cheles	200	48

				(Badajoz)		
4489	1981	6	18	Cheles	200	49
				(Badajoz)		
4493	1995	7	18	Higuera de Vargas	342	48
				(Badajoz)		

Tabla 23: Temperaturas máximas de Extremadura ≥ 48 °C. Fuente: AEMet

Murcia						
INDICATIVO	AÑO	MES	DIA	NOMBRE - PROVINCIA	ALTITUD	Tmáx $\geq 48^{\circ}\text{C}$
7019I	1994	7	6	Alhama el Carril	190	48
				(Murcia)		
7217	1994	7	4	Totana Presa del Pareton	200	48
				(Murcia)		
7238	1994	7	4	Murcia los Cuadros	100	48
				(Murcia)		

Tabla 24: Temperaturas máximas de Murcia ≥ 48 °C. Fuente: AEMet.

El resto de Comunidades Autónomas que no aparecen en estas tablas: Asturias, Baleares, Canarias, Cantabria, Castilla La Mancha, Cataluña, Comunidad de Madrid, Comunidad Valenciana, Galicia, La Rioja, Navarra y País Vasco no alcanzan temperaturas superiores a 48°C según la información facilitada por la AEMet.

MAPAS

MAPA 1: Posibles Zonas Aptas de introducción de *Moringa oleifera*.

MAPA 2: Posibles Zonas Óptimas de introducción de *Moringa oleifera*.

MAPA 3: Potencial Área de Introducción de *Moringa oleifera*.

MAPA N° 1

Posibles Zonas Aptas
de introducción de la
Moringa oleifera:

- Zonas No Aptas
- Zonas Aptas
- Zonas Aptas con PROBABLE riego
- Zonas Aptas con OBLIGATORIO riego



SISTEMA DE COORDENADAS
ETRS89 UTM Zona 30N

0 75 150 300 Km

Autor: Consuelo Arias Sabín



MAPA Nº 2

Posibles Zonas Óptimas
de introducción de la
Moringa oleifera:

- Zonas No Aptas
- Zonas Aptas
- Zonas Óptimas
- Zonas Óptimas con PROBABLE riego
- Zonas Óptimas con OBLIGATORIO riego



SISTEMA DE COORDENADAS
ETRS89 UTM Zona 30N

0 75 150 300 Km

Autor: Consuelo Arias Sabín



MAPA Nº 3

Potencial Área de Introducción
de la *Moringa oleifera*:

CLASES DE POTENCIALIDAD:

- Muy Alta
- Alta
- Media-Alta
- Media
- Media-Baja
- Baja
- Nula



SISTEMA DE COORDENADAS
ETRS89 UTM Zona 30N

0 75 150 300 Km

Autor: Consuelo Arias Sabín

